



Fraunhofer

IWS



Dresden



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS

JAHRESBERICHT 2011

www.iws.fraunhofer.de



JAHRESBERICHT 2011







VORWORT

*Fantasie ist wichtiger als Wissen,
denn Wissen ist begrenzt.*
Albert Einstein

Das Jahr 2011 war durch eine Erholung der Wirtschaft in Deutschland mit einem Wachstum von über 3 % geprägt. Getrieben durch diese positive Entwicklung konnten die Erträge des IWS um 17 % wachsen. Bezogen auf den Betriebshaushalt lagen unsere Erträge aus der Industrie bei 46 %.

Die verstärkte Konzentration der FuE-Aktivitäten auf die Energieeffizienz bzw. die Energietechnik hat sich positiv ausgewirkt. So konnten beispielsweise Projekte im Bereich der Batterieforschung, der Reibungsminderung und der Elektroblechoptimierung erfolgreich abgeschlossen werden. Gleichzeitig wurde eine Vielzahl von Projekten zum Thema Energie in Angriff genommen, welche die Arbeiten des IWS in den nächsten Jahren prägen werden. Des Weiteren konnte auch im Jahr 2011 eine Reihe von IWS-Entwicklungen auf verschiedensten Arbeitsgebieten in die industrielle Serienfertigung überführt werden. Einige dieser Innovationen möchten wir in diesem Jahresbericht vorstellen.

Im Rahmen des DRESDEN-concept, einem Zusammenschluss der außeruniversitären Einrichtungen in Dresden mit der TU Dresden, unterstützte das Fraunhofer IWS mit allen Kräften die Aktivitäten der Universität im Rahmen der Exzellenzinitiative. Aus diesem Zusammenschluss ergaben sich für das IWS zusätzlich auch sehr erfolgreiche Kooperationen mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) und den Leibniz-Instituten. Das Netzwerk des IWS mit seiner Außenstelle in den USA sowie den Projektgruppen in Dortmund und Wrocław konnte erfolgreich ausgebaut werden. Eine Erweiterung ist für 2012 geplant.

Weitere Höhepunkte waren u. a. ein deutsch-niederländischer Workshop zur Photovoltaik, verbunden mit dem Besuch der Niederländischen Königsfamilie, sowie die Verleihung der Auszeichnung German High Tech Champions auf dem Gebiet Solar/PV an Dr. Lasagni und sein Team.

Eine besondere Herausforderung im Jahr 2011 war die Durchführung eines Technologieaudits mit Gutachtern aus Industrie und Wissenschaft. Im Nachgang bestätigten die externen Gutachter dem IWS eine ausgezeichnete Organisation und Arbeitsweise, eine den jeweiligen Herausforderungen angepasste und nicht statische Struktur sowie eine Orientierung der Arbeitsgebiete an den Schlüsseltechnologien und Megatrends. Sie honorierten die erfolgreiche Entwicklung der letzten 15 Jahre und begrüßten die auf die anstehenden Herausforderungen unserer Gesellschaft ausgerichteten Arbeiten und Strategien des IWS.

Nicht nur aufgrund dieser Beurteilung der Auditoren sehen wir sehr positiv in das Jahr 2012, für welches wir erneut ein deutliches Wachstum erwarten.

INHALT

AUS DEM FRAUNHOFER IWS

VORWORT	3
INHALT	4
ENERGIEFORSCHUNG IM FOKUS	6
HIGHLIGHTS IM JAHR 2011	8
AUS DEM KURATORIUM	10
DAS INSTITUT IM PROFIL	12
KERNKOMPETENZEN	12
DAS INSTITUT IN ZAHLEN	14
ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER	16

AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN

ABTRAGEN UND TRENNEN	18
DER LASER ALS WERKZEUG ZUM TRENNEN UND MIKROBEARBEITEN	
FÜGEN	34
NEUE FÜGETECHNOLOGIEN FÜR METALLISCHE UND NICHTMETALLISCHE WERKSTOFFE	
RANDSCHICHTTECHNIK	52
GANZHEITLICHER WERKSTOFF-, VERFAHRENS- UND SYSTEMTECHNISCHER ANSATZ	



THERMISCHES BESCHICHTEN 60

SYMBIOSE ZWISCHEN BESCHICHTUNGSTECHNIK
UND WERKSTOFF-KNOW-HOW

CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND REAKTIONSTECHNIK 74

NEUE TECHNOLOGIEN VERBESSERN
FUNKTIONALITÄT VON OBERFLÄCHEN

PVD-VAKUUM-SCHICHTTECHNOLOGIE 88

NEUARTIGE SCHICHTSYSTEME ERWEITERN
ANWENDUNGSSPEKTRUM

NETZWERKE, NAMEN, DATEN

AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN 2011 104

NETZWERKE 106

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT	107
ANBINDUNG AN DIE TU / DRESDEN-CONCEPT	108
DRESDNER INNOVATIONSZENTRUM ENERGIEEFFIZIENZ	110
DORTMUNDER OBERFLÄCHENZENTRUM (DOC®)	112
PROJECT CENTER WROCLAW (PCW)	114
CENTER FOR COATINGS AND LASER APPLICATIONS (CCL)	116
NANO / LIFT	118
FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES	120

BESONDERE EREIGNISSE 122

VERÖFFENTLICHUNGEN 124

KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT 129



ENERGIEFORSCHUNG IM FOKUS

ENERGIEFORSCHUNG IM IWS

Die Entwicklung und industrielle Umsetzung moderner Technologien in den Bereichen Energiewandlung, -speicherung und -effizienz ist für das Fraunhofer IWS von wesentlicher Bedeutung. Im Jahr 2011 akquirierte das Institut wiederum 5 Mio. Euro bei der Industrie und Zuwendungsgebern für Forschungsprojekte in diesen Bereichen. Zusätzlich flossen Eigenmittel in Höhe von etwa 1 Mio. Euro in Grundlagen- und Vorlaufforschung in diesen Bereich. Ein wesentlicher Teil der Mittel wurde für die Anschaffung von Technik zur Rolle-zu-Rolle-Beschichtung, Nachbehandlung und Prüfung von Batterie- und Supercapwerkstoffen eingesetzt (siehe auch S. 84-85). Damit kann das Institut der Industrie Unterstützung bei der Herstellung, Verarbeitung und Evaluierung von Beschichtungsmaterialien anbieten und Musterelektroden für Testzwecke herstellen.

PRODUKTIONSTECHNISCHES DEMONSTRATIONSZENTRUM FÜR LITHIUM-IONEN-ZELLEN - DELIZ

Das 2010 gestartete Verbundforschungsprojekt DeLIZ (Förderkennzeichen 02P02640) wurde 2011 erfolgreich abgeschlossen. Produktionstechnische Fragestellungen entlang der gesamten Prozesskette zur Fertigung von Lithium-Ionen-Zellen standen im Mittelpunkt der Arbeiten des Fraunhofer IWS. Eine Vielzahl von Ergebnissen z. B. zur energieeffizienten Elektrodenbeschichtung im Rolle-zu-Rolle-Verfahren, zum kostengünstigen Konfektionieren mittels Laser-Remoteschneiden, zum Fixieren der Einzelfolien und Fügen der Folienpakete mit minimalem Übergangswiderstand sowie zur Laservorbehandlung der Ableiterbleche wurden von der Industrie mit großem Interesse zur Kenntnis genommen.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKT PHOTOVOLTAIK

Die Entwicklung von Lösungen im Anwendungsspektrum der Photovoltaik-Branche gewinnt für das IWS zunehmend an Bedeutung. Kennzeichnend sind die vielen Themen, die von verschiedenen Kompetenzbereichen des Instituts wahrge-

nommen werden können und die u. a. die Plasma- und Reaktionstechnik, die Oberflächenfunktionalisierung, die Mikrobearbeitung, die Anwendung von Drucktechnologien und das Prozess-Monitoring betreffen. Bisher bearbeitete Fragestellungen berühren sowohl fertigungstechnische Aspekte der Schichtgenerierung und -bearbeitung (Abscheiden, Ätzen, Texturieren, Metallisieren), der laserbasierten Entschichtung (Ablation) und der Laserinterferenzstrukturierung (Effizienzsteigerung von Solarzellen) als auch Verfahren zur Prozessüberwachung (Charakterisierung von Gasatmosphären) und Schichtbewertung.

DRESDNER KONFERENZ »ZUKUNFT ENERGIE«

Vom 11. bis 13. Mai 2011 fand erstmals die vom Fraunhofer IWS organisierte Dresdner Konferenz »Zukunft Energie« statt. Drei Tage lang präsentierten Vertreter aus Wirtschaft und Wissenschaft ihre Ergebnisse, Produkte und Erfahrungen zu den Schwerpunkten Energieumwandlung, Energiespeicherung und effizienter Energieeinsatz. Für den in diesen Bereichen weltweit wachsenden Markt mit enormen ökonomischen Potenzialen wurden moderne Materialsysteme und Fertigungskonzepte vorgestellt und Innovationen umrissen. 280 Teilnehmer waren von der Qualität und der Themenbreite der Veranstaltung begeistert.

Die nächste Konferenz »Zukunft Energie« findet am 28. und 29. Mai 2013 statt. <http://www.zukunftenergie-dresden.de>

DRESDNER INNOVATIONSZENTRUM ENERGIEEFFIZIENZ DIZE^{EFF}

Das im Jahr 2009 im Rahmen des DRESDEN-concept initiierte Projekt DIZE^{EFF} wurde 2011 erfolgreich evaluiert und geht in die nächste Förderperiode. Mit den im Gesamtverbund bisher erzielten Forschungsergebnissen wurden die Grundlagen für die zusätzliche Akquisition von Drittmitteln gelegt. Ausgewählte Teilergebnisse des Projektes werden z. B. auf den Seiten 30/31, 46/47, 94/95 des Jahresberichtes vorgestellt. <http://www.innovation-energieeffizienz.de>

HIGHLIGHTS IM JAHR 2011



SCANNERTECHNIK IM EINSATZ

Um die Eigenerwärmung von Geräten wie Transformatoren, Überträgern und Elektromotoren zu minimieren und Energie zu sparen, gilt es, deren Leistungsverluste zu verringern. Die von den Partnern Rofin-Sinar, Maschinenfabrik Arnold und Fraunhofer IWS gemeinsam entwickelten Systeme zur Laserbearbeitung sind in der Lage, die Ummagnetisierungsverluste von kornorientiertem Elektroblech um ca. 10 % zu verringern (Abb. 1). Die in den Anlagen eingesetzte einzigartige Anordnung mehrerer Scannerspiegel ermöglicht im Zusammenspiel mit schnell ansteuerbaren Lasern exzellenter Strahlqualität und bisher nicht erreichte dynamische Eigenschaften. Gleichzeitig garantieren die Systeme höchste Flexibilität und konstante Behandlungsparameter. Weltweit wurden bereits 4 Anlagen des Konsortiums installiert. Weitere 3 Systeme sind fertig gestellt und nehmen bis Mitte 2012 die Produktion auf.

SECHSTE AIRBAG-LASERSCHNEIDANLAGE IN DIE INDUSTRIE ÜBERFÜHRT

Die vom Fraunhofer IWS zusammen mit der Firma Held Systems entwickelte kompakte Anlagentechnik zum flexiblen Laserstrahlschneiden von Airbagmaterial wurde 2011 an einen weiteren Industriekunden übergeben. Besonderheit dieser Anlage ist das Schneiden von »OPW« (one piece woven) - Material durch eine kamerabasierte Geometriererkennung. Die bei einem Automobilzulieferer in Japan installierte Anlage zeichnet sich durch höchste Produktivität und Flexibilität aus.

ÜBERFÜHRUNG DER CONTIWELD-TECHNOLOGIE IN DIE INDUSTRIE

Für die Herstellung von großflächigen Wärmetauscherplatten wurde in Zusammenarbeit mit dem Partner Held Systems ein neuartiges Laseranlagenkonzept entwickelt und in die Industrie überführt. Die Wärmetauscherplatten (»Pillow-plates«) weisen bis zu 800 Schweißnähte pro m² auf. Durch den Einsatz hochdynamischer Scanner und deren steuerungs-

technische Kopplung mit konventionellen Kinematiken wurden die Positionierzeiten deutlich minimiert. In Verbindung mit dem Einsatz effizienter pneumatischer Spanntechnik konnten so enorme Produktivitätssteigerungen erzielt werden. Die vom Fraunhofer IWS Dresden speziell für diese Anwendung entwickelte CAD-CAM-Software »CAS.optWELD« ermöglicht die effiziente Prozessplanung und Programmierung der »Pillow-plate«-Schweißung. Detaillierte Informationen bieten die Seiten 50 und 51 des Jahresberichtes.

MIT LASER MASSGESCHNEIDERTE MIKROREAKTOREN - DAS MINIATURISIERTE LABOR AUS EINER HAND

Zusammen mit der capitalis technology GmbH hat das Fraunhofer IWS eine geschlossene Prozesskette für die effektive Fertigung von anwendungsspezifischen Mikroreaktoren entwickelt. Die Mikroreaktoren werden schnell und flexibel als Mehrlagensystem aus der Materialkombination Silikon, Glas und Metall oder Polymer hergestellt. Gemeinsam wurden bisher 7 anwendungsspezifische Mikroreaktorsysteme für den Markt realisiert. Dabei handelt es sich beispielsweise um Mikroreaktoren für:

- die standardisierte nass-chemische Nitrat-Bestimmung mit fotometrischer Detektion,
- die Bestimmung umweltrelevanter Substanzen über einen Hefezellsensor mit elektrochemischer Detektion,
- die Charakterisierung der Biokompatibilität von Oberflächen,
- die Probenvorbereitung für SPR-Biochips sowie
- lebendzellbasierte Fluoreszenz- und Chemolumineszenz-Sensorplattformen.

WEITERE ROBOTERBASIERTE ANLAGE ZUM HÄRTEN UND AUFTRAGSCHWEISSEN VON WERKZEUGEN

Mit der Lieferung von Komponenten und einer speziellen Mitarbeiterschulung unterstützt das Fraunhofer IWS den Vorrichtungsbau der Volkswagen AG bei der Erstellung einer roboterbasierten Anlage zum Laserstrahlhärten und -auftragschweißen. Die Anlage ist insbesondere auf die Neu-



fertigung von Karosseriewerkzeugen zugeschnitten. Das Fraunhofer IWS lieferte Systemkomponenten für die Strahlformung, Prozessregelung und Pulverzufuhr sowie die kompletten, automatisch wechselbaren Prozessmodule. Die Installation der Laseranlage zum Bearbeiten von Schneid- und Umformwerkzeugen bei der Volkswagen AG in Wolfsburg wurde 2011 abgeschlossen. Die Inbetriebnahme der Anlage und die Schulung der VW-Mitarbeiter erfolgt zu Beginn des Jahres 2012.

AUTOMATISIERTES LASERSYSTEM ZUR GENERATIVEN FERTIGUNG METALLISCHER BAUTEILE

In Zusammenarbeit mit der Maschinenfabrik Arnold ist ein Bearbeitungszentrum zum generativen Fertigen komplex geformter metallischer Bauteile am Center for Advanced Manufacturing Technologies (CAMT) in Wrocław in Betrieb genommen worden. Das Fertigungssystem (Abb. 2) beruht auf einer 5-Achs-CNC-Fräsmaschine, welches mit einem Faserlaser sowie einer Inertgaskammer ausgerüstet ist. Um die vom Anwender geforderte komplexe Funktionalität der Maschine im automatischen Langzeitbetrieb zu gewährleisten, sind mehrere Systeme aus IWS-Entwicklung installiert und miteinander vernetzt worden, u.a.:

- Bearbeitungsköpfe aus der COAXn-Familie,
- eine E-MAqS-Kamera zur Prozesskontrolle,
- ein DCAM-Softwaresystem zur 3D-Datenmodellierung und Offline-Programmierung sowie
- materialbezogene Prozessparameter.

ERWEITERUNG DER INDUSTRIELLEN ANWENDUNGEN DER TEMPERATUR - MESS- UND REGELSYSTEME »E-MAQS«, »E-FAQS« UND »LOMPOCPRO«

In den letzten Jahren hat das Fraunhofer IWS den Anwendungsbereich ihrer ursprünglich für das Laserstrahlhärten entwickelten Mess- und Regelsysteme kontinuierlich und erfolgreich erweitert. Technologien wie Laserauftragschweißen, Induktionshärten und Wärmebehandeln von Werkstoffen



für die Photovoltaik werden heute ebenso sicher von IWS-Technik überwacht und geregelt wie zahlreiche Applikationen zum Laserstrahlhärten. Nachfolgend einige Industrieüberführungen des Jahres 2011:

In Zusammenarbeit mit der Maschinenfabrik Arnold Ravensburg wurde das kamerabasierte Temperaturerfassungssystem »E-Maqs« mit der Regelung »LompocPro« in eine Anlage zur Reparatur von Strahltriebwerkskomponenten von General Electrics Shanghai integriert. Eine gleichartige Systemkombination erhielten Anlagen zum Generieren feinsten metallischer Strukturen am CAMT in Wrocław sowie bei der System S.A. Katowice und die Volkswagen AG für ihre Anlage zum universellen Einsatz im Werkzeugbau.

Bei der Firma EMA Indutec wird das Mess- und Regelsystem »LompocPro« zukünftig für die Überwachung und Regelung von induktiven Randschicht-Härtungsprozessen eingesetzt. Bei der Sitec Industrietechnologie Chemnitz erschließt das extrem schnelle Mess- und Regelsystem »E-FAQS« neue Möglichkeiten in der Fertigung von Solarzellen.

IONENSTRAHLTECHNOLOGIE ZUR RÖNTGENOPTIK-HERSTELLUNG

Für die Entwicklung und Fertigung von leistungsfähigen Röntgenspiegeln werden im IWS seit einigen Jahren Sputtertechniken genutzt. Neben der Magnetron-Sputter-Deposition, die bereits in mehreren industriellen Beschichtungsanlagen für die Herstellung von Präzisionsoptiken zum Einsatz kommt, erfolgte im Jahr 2011 nun auch die Überführung der Ionenstrahltechnologie an die Firma AXO DRESDEN GmbH. Der Einsatz dieser Technik in der Anlage IonSys 1600 (Abb. 3) des Herstellers Roth & Rau MicroSystems ermöglicht neben der Präzisionsbeschichtung auch einen Oberflächenabtrag durch maßgeschneiderte Ionenströme. Reinigung, Politur oder Konturierung röntgenoptischer Oberflächen eröffnen den industriellen Partnern darüber hinaus große Chancen, deutlich verbesserte oder auch komplett neuartige Optiken herstellen zu können.

AUS DEM KURATORIUM



Das Kuratorium berät und unterstützt die Institutsleitung sowie die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 21. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 24. März 2011 im Fraunhofer IWS Dresden statt. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

FRANK JUNKER, DR.

Vorsitzender des Kuratoriums
Selbstständiger Berater,
Radebeul

RAINER BARTL, DR.

Unternehmensberatung Karlsruhe-Düsseldorf
(Gast des Kuratoriums)

DIETER FISCHER

Geschäftsführer EMAG Leipzig Maschinenfabrik GmbH,
Leipzig

WERNER HUFENBACH, PROF. DR.

Direktor des Instituts für Leichtbau und Kunststofftechnik
der Technischen Universität Dresden

ULRICH JARONI, DR.

Mitglied des Vorstandes der ThyssenKrupp Steel Europe AG,
Division Auto,
Duisburg

PETER KÖSSLER

Werkleiter AUDI AG,
Ingolstadt

UWE KRAUSE, DR.

Karlsruher Institut für Technologie, Projektträger Karlsruhe,
Produktion und Fertigungstechnologien,
Außenstelle Dresden

THOMAS G. KRUG, DR.

Managing Director Hauzer Techno Coating BV,
Niederlande

HANS MÜLLER-STEINHAGEN, PROF. DR.

Rektor der Technischen Universität Dresden

PETER G. NOTHNAGEL

Geschäftsführer Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH,
Dresden

MARKUS RALL, DR.

Mitglied des Vorstandes Geschäftsbereich Bogendrucksysteme
der manroland AG,
Offenbach / Main

HERMANN RIEHL, MINR

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Leiter des
Referates Produktionssysteme und -technologien,
Bonn

FRANZ-JOSEF WETZEL, DR.

BMW Motorrad, Geschäftsbereichsplanung, Kooperationen,
München

PETER WIRTH, DR.

Rofin-Sinar Laser GmbH,
Hamburg

REINHARD ZIMMERMANN, MINR DR.

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst,
Dresden





Hat sich die Konjunktur doch besser entwickelt, wider alle Prognosen?

Die mir auch persönlich gut bekannte Gesellschaft für Konsumforschung bescheinigt uns das. Der Optimismus der Deutschen wächst. Die deutsche Wirtschaft ebenfalls, getragen auch durch ihren hohen Exportanteil, und sie ist noch im Dezember 2011 sehr zuversichtlich. Die Konjunkturforscher aber warnen vor einer Abkühlung im Jahr 2012.

Die besten Aussichten für die weitere Zukunft haben dabei jene Bereiche, die mit Innovation und neuesten Technologien aufwarten. Noch sind viele Bereiche klein und stehen oft am Anfang einer neuen Welle für Wachstum der industriellen Produktion. Allerdings sind dazu auch die Fachkräfte dringend notwendig. Forschung und Lehre müssen noch mehr in den Fokus vieler gerückt werden. Aufgebautes Wissen muss gestärkt und erhalten bleiben sowie Neues schneller dazukommen. Dann besteht eine große Sicherheit, dass der Wirtschaftsstandort Deutschland gestärkt in die Zukunft geht. Die Prognosen sind nicht so schlecht oder sogar gut, denn die schwache Wirtschaft vieler EU-Länder berührt die deutsche Wirtschaft kaum. Die schlechten Nachrichten aus dem Finanzbereich haben die Zuversicht der deutschen Wirtschaft nicht gemindert.

Im Bereich der Forschung und Entwicklung ist 2011 eine wesentlich bessere Entwicklung zu verzeichnen als erwartet. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat sich dabei gut behaupten können. Davon konnte ich mich auch ganz persönlich anlässlich des Fraunhofer-Symposiums »Netzwerk 2011« am 28./29. November 2011 in München überzeugen. Über 250 Wissenschaftler und Kuratoren konnten die Ergebnisse der Fraunhofer Forschung live erleben und in sehr interessanten Gesprächen weitere Ansätze für die eigene oder auch gemeinsame Forschung ableiten. Auch die Notwendigkeit, noch mehr Internationalität zu erreichen, ist dabei deutlich geworden. Die Vernetzung der Fraunhofer-Institute untereinander als auch mit den Instituten der Max-Planck-

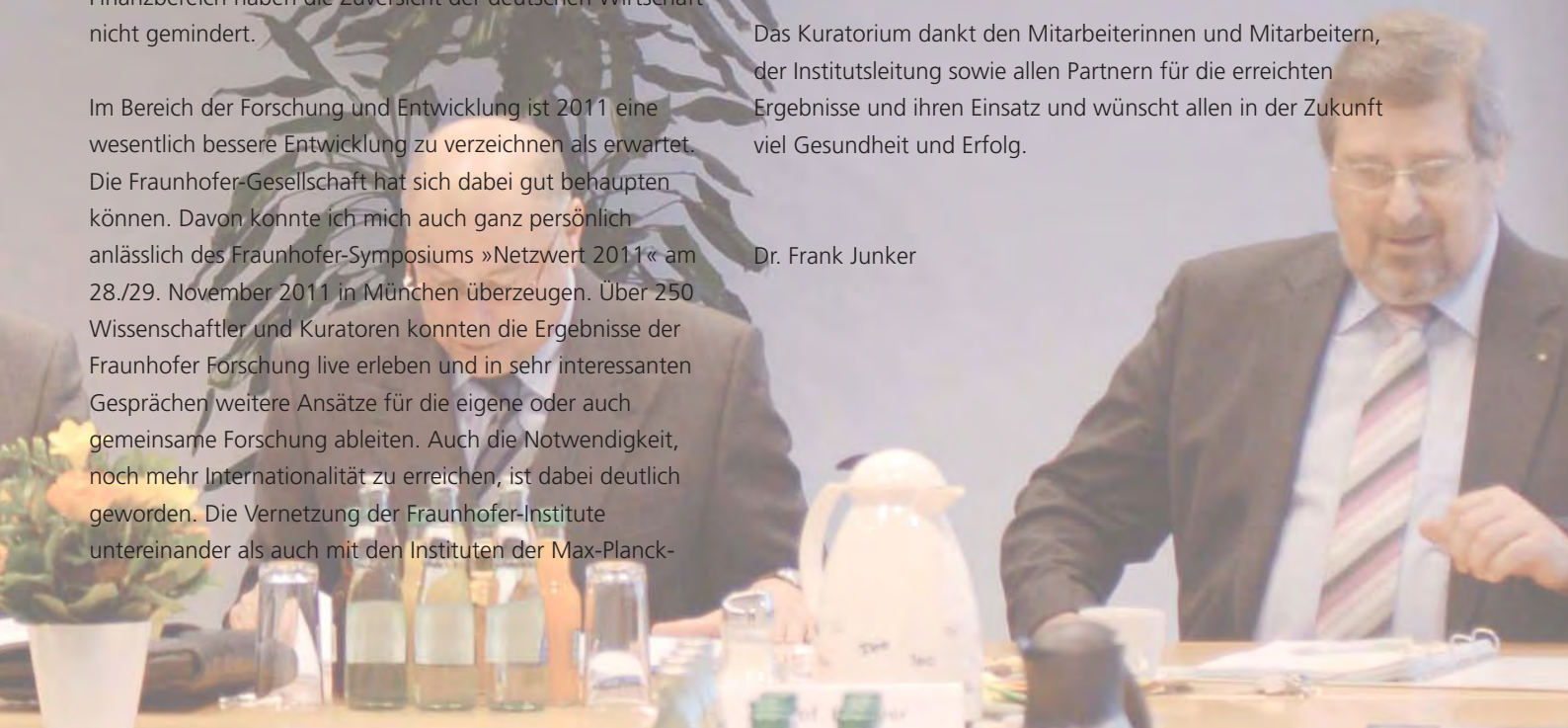
Gesellschaft und den Einrichtungen der Universitäten wurde bei diesem Symposium sehr gut sichtbar. Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik folgt dieser Orientierung sehr erfolgreich. Der Erfolg des IWS manifestiert sich in den Highlights des Jahres 2011, welche - auf den Kernkompetenzen in den Bereichen Oberflächen- und Lasertechnik basierend - der weiteren strategischen Ausrichtung auf die Themen Energie, Mobilität, Werkstoffe und Gesundheit folgen. Mit dieser Ausrichtung werden Projekte mit hohem wissenschaftlichen Anspruch, höchstem Innovationsanspruch und bedeutsamen wirtschaftlich-politischen Auswirkungen bearbeitet.

Die sehr erfolgreiche Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Dresden stärkt die Forschung und Lehre an der Universität. Gut ausgebildete Fachkräfte von der Universität sind für den Industriestandort Deutschland wichtig für die Zukunft. Die Kooperation der Technischen Universität mit den außeruniversitären Forschungseinrichtungen ist auch die Stärke des Antrages im Rahmen des Exzellenzwettbewerbes.

Wir als Kuratoren freuen uns über die Entwicklung des IWS im Jahr 2011 und unterstützen die strategische Ausrichtung.

Das Kuratorium dankt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, der Institutsleitung sowie allen Partnern für die erreichten Ergebnisse und ihren Einsatz und wünscht allen in der Zukunft viel Gesundheit und Erfolg.

Dr. Frank Junker



KERNKOMPETENZEN

Die Überführung aktueller Forschungsergebnisse in die industrielle Praxis ist wesentlicher Antrieb für die Forschungsarbeiten des Institutes. Um dieser »Mission« gerecht zu werden, haben wir uns auf folgenden Gebieten Kernkompetenzen erarbeitet und ständig weiter ausgebaut:

LASERMATERIALBEARBEITUNG

- Hochgeschwindigkeitsschneiden von Metallen
- Schneiden und Schweißen von Kunststoffen sowie anderen Nichtmetallen
- Schweißverfahren für schwer schweißbare Werkstoffe
- Laser-Auftragschweißen sowie Generieren
- Laserrandschichthärten, Umschmelzen und Legieren speziell für hoch beanspruchte und komplizierte Bauteile
- Kurzzeitwärmebehandlungen
- Laserhybridtechnologien, wie z. B.
 - Laserinduktionsschweißen und -auftragschweißen
 - Plasma-, WIG- oder MIG-unterstütztes Laserstrahl-schweißen und -auftragschweißen
- Abtragen, Reinigen und Strukturieren
- prozessspezifische Überwachung und Regelung

OBERFLÄCHENFUNKTIONALISIERUNG UND BESCHICHTUNG

- Plasma-, Lichtbogen- und Flamm-spritzverfahren mit Pulver und Suspensionen
- Hochratebeschichtungsverfahren (Vakuumbogen, Elektronenstrahlverdampfen)
- Präzisionsbeschichtungsverfahren (Magnetron-Sputtern, Ionenstrahl-Sputtern)
- Laser-Arc-Verfahren als Hybridtechnologie
- Plasma- und chemisches Atzen, Abtragen, Reinigen und Funktionalisieren
- chemische Gasphasenabscheidung und Beschichtung
- Pastenauftrag (auch im Rolle-zu-Rolle-Verfahren)
- Sprühauftrag ultradünner Schichten
- Nano- und Mikrostrukturierung

WERKSTOFFTECHNIK / NANOTECHNIK

- Ermittlung von Werkstoffkennwerten für Werkstoffauswahl, Bauteillegung und Qualitätssicherung
- metallographische, elektronenmikroskopische und mikroanalytische Charakterisierung der Realstruktur von Metallen, Keramiken und Schichtverbänden
- Versagens- und Schadensanalyse
- Thermoschockcharakterisierung von Hochtemperaturwerkstoffen
- Eigenschaftsbewertung von randschichtbehandelten, beschichteten und geschweißten Werkstoffen und Bauteilen
- optisch-spektroskopische Charakterisierung von Oberflächen und Schichten (nm- bis mm-Bereich)
- mechanisch-tribologische Charakterisierung
- Schichtdicken- und E-Modul-Messungen von nm- bis mm-Schichten mittels Laserakustik
- Ellipsometrie, Röntgenreflektometrie und -diffraktometrie
- bildgebende Oberflächenanalyse
- Elektrochemie und Elektrodenechemie
- Herstellung, Funktionalisierung und Verarbeitung von Nanopartikeln und Nanotubes



SYSTEMTECHNIK

- Umsetzung des Verfahrens-Know-hows in Entwicklung, Fertigung und Design von Komponenten, Anlagen und Systemen mit der dazugehörigen Software
- Systemlösungen für das Schneiden, Schweißen, Abtragen, Auftragen, Randschichtveredeln und Charakterisieren mit Laser, z. B.
 - Bearbeitungsoptiken, Sensorik, Strahlableit- und Monitoringsysteme inklusive Steuerungssoftware für die Hochgeschwindigkeits- und Präzisionsbearbeitung
 - Systeme zur Strahlformung und Prozessüberwachung für die Randschichtveredelung mittels Hochleistungsdiodelenlaser
- Beschichtungsköpfe zur kontinuierlichen richtungsunabhängigen Pulver- oder Drahtzufuhr sowie Prozessüberwachung und CAM-Steuerungssoftware
- verfahrensorientierte Prototypenentwicklung von Komponenten und Beschichtungsanlagen für die PVD-Präzisions- und Hochratebeschichtung, die Atmosphärendruck-CVD sowie die chemische und thermische Oberflächenveredlung
- Messsysteme zur Schichtcharakterisierung bzw. zur zerstörungsfreien Bauteilprüfung mittels laserakustischer und spektroskopischer Methoden
- Systeme zur spektroskopischen Überwachung von Gasgemischen
- Software- und Steuerungstechnik

PROZESSSIMULATION

- Eigenentwicklung von Simulationsmodulen zum
 - thermischen Randschichtbehandeln bzw. Laserhärten
 - Laser-Pulver-Auftragschweißen
 - Vakuumbogenbeschichten
 - Laserschneiden und -schweißen
- Berechnung der optischen Eigenschaften von Nanoschichtsystemen mit eigenen Simulationstools
- Nutzung kommerzieller Simulationsmodule zum
 - Laserstrahlschweißen und -schneiden
 - Optimieren der Gas- und Plasmaströmung bei Beschichtungsprozessen und der Lasermaterialbearbeitung

Geschäftsfelder	Kernkompetenzen				
	Lasermaterialbearbeitung	Oberflächenfunktionalisierung und Beschichtung	Werkstoff- / Nanotechnik	Systemtechnik	Prozesssimulation
Abtragen / Trennen	■	□	□	■	□
Fügen	■		■	□	□
Oberflächentechnik					
Randschichttechnik	□	□	■	■	□
Therm. Beschichtungstechnik	□	■	□	□	□
PVD-Vakuum-Schichttechnik	□	■	■	□	□
Chemische Oberflächen- und Reaktionstechnik		■	□	□	□



DAS INSTITUT IN ZAHLEN

MITARBEITER AM IWS

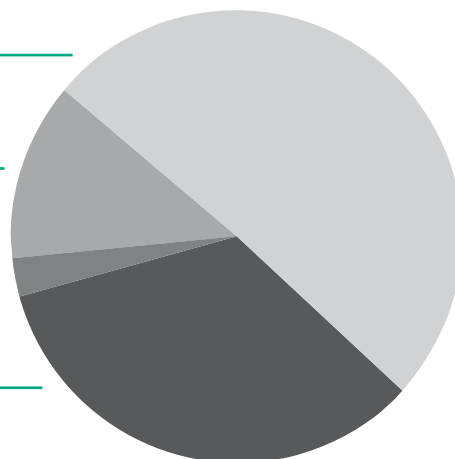
	Anzahl
Stammpersonal	160
Wissenschaftler / Ingenieure (TU, FH)	121
Facharbeiter mit techn. oder kaufmänn. Ausbildung	30
Auszubildende	9
Mitarbeiter TU Dresden (Arbeitsort Fraunhofer IWS)	40
Stipendiaten + externe Mitarbeiter	8
Wissenschaftliche Hilfskräfte	107
GESAMT	315

51 % Stammpersonal

13 % TU-Mitarbeiter

2 % Stipendiaten + externe Mitarbeiter

34 % Wissenschaftliche Hilfskräfte



MITARBEITER AM FRAUNHOFER CCL (USA)

14

Aller Anfang ist leicht; und die letzten Stufen werden am schwersten und seltensten erstiegen.

Johann Wolfgang von Goethe

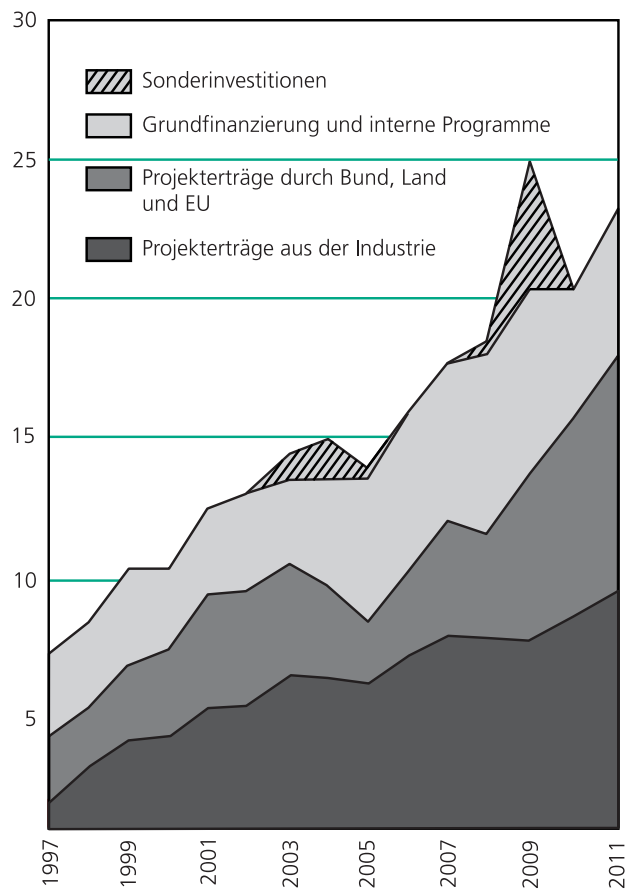
Erträge 2011 (Mio €)*	Betrieb	Investitionen	Gesamt
Projekterträge aus der Industrie	9,2 45 %	0,2 6 %	9,4 40 %
Projekterträge durch Bund, Land und EU	6,7 33 %	1,9 56 %	8,6 36 %
Grundfinanzierung und interne Programme	4,4 22 %	1,3 38 %	5,7 24 %
	20,3	3,4	23,7

Aufwand 2011 (Mio €)*	
Personalaufwendungen	9,3 39 %
Sachaufwendungen	11,0 47 %
Investitionen	3,4 14 %
	23,7

*STAND FEBRUAR 2012

PUBLIKATIONEN AM IWS

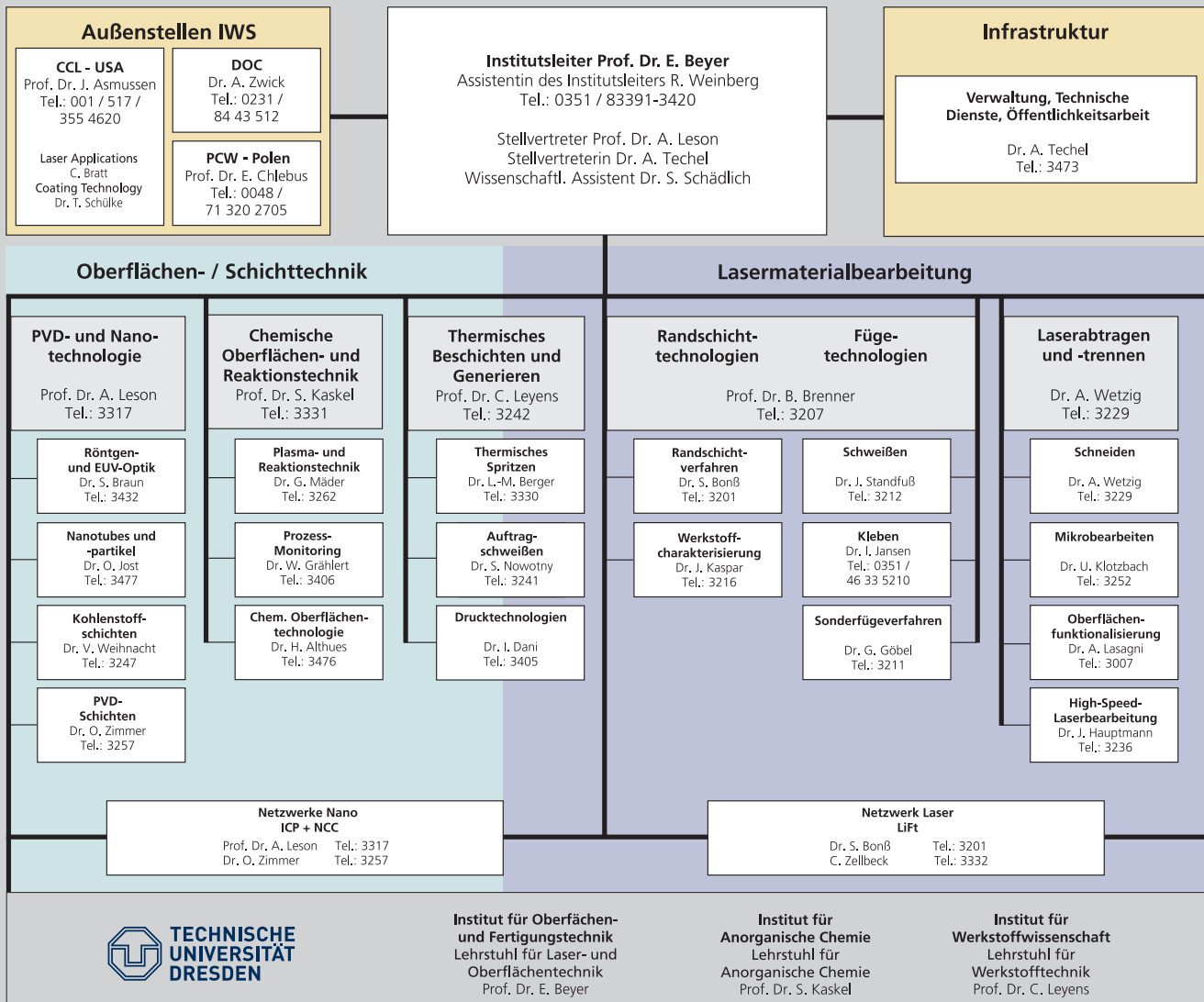
	Anzahl
Promotionen	5
Diplomarbeiten	38
Patente	14
Veröffentlichungen	103
GESAMT	160

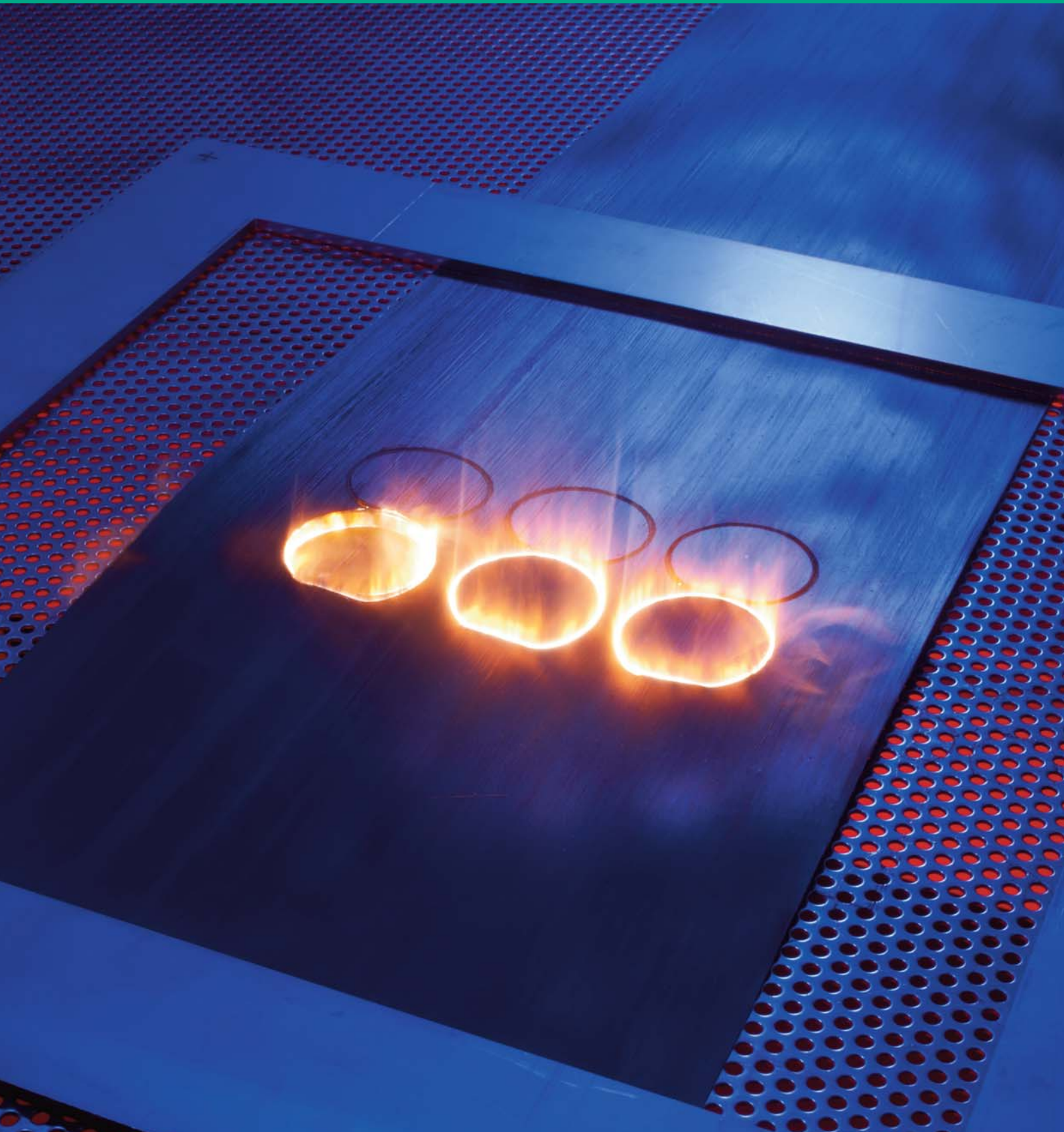
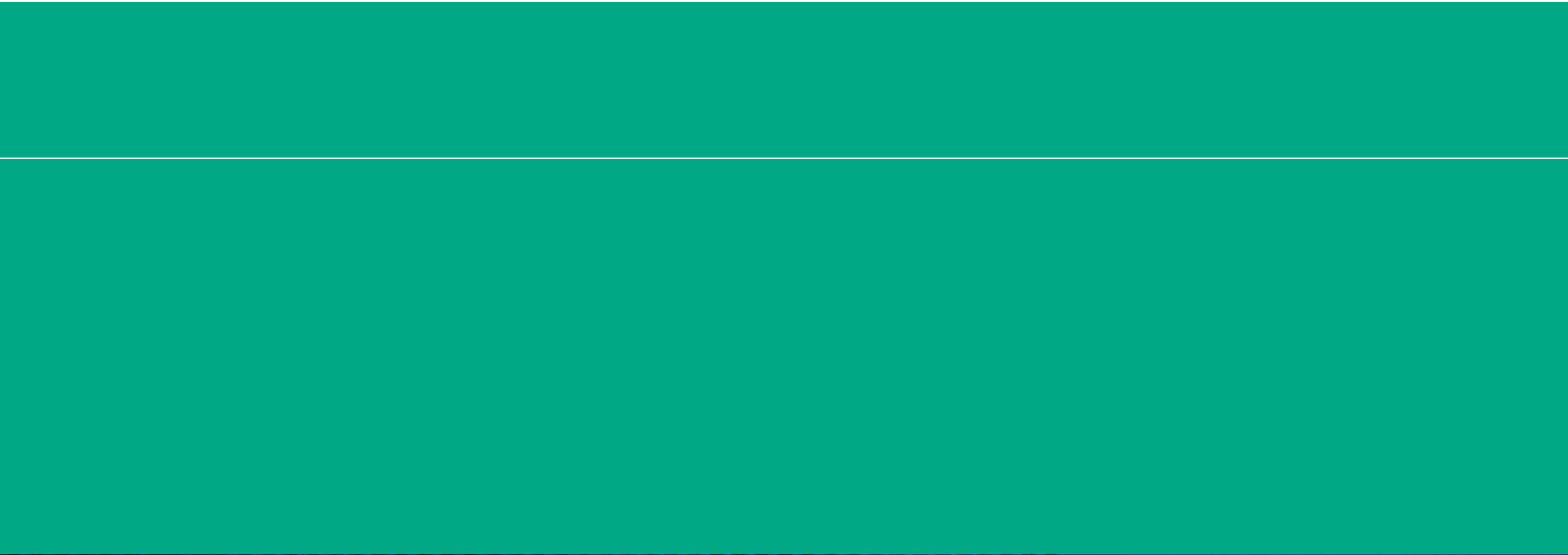


DAS LEITUNGSTEAM



ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER





Freude an der Arbeit läßt das Werk trefflich geraten.

Aristoteles



GESCHÄFTSFELD ABTRAGEN UND TRENNEN

Redaktion: Herr Dr. Wetzig, Sie leiten nun seit drei Jahren die Abteilung Laserabtragen und -trennen. Wie sehen Sie heute die Entwicklung Ihrer Abteilung, insbesondere nach der Wirtschaftskrise?

Dr. Wetzig: Die Wirtschaftskrise hat uns im Jahr 2009 nicht so hart getroffen wie einige unserer Kunden. Wir hatten damals nur einen sehr geringen Rückgang der Mittel aus industrieller Auftragsforschung zu verzeichnen. Eine Abteilung eines Fraunhofer-Instituts, der ein bestimmtes Geschäftsfeld zugeordnet ist, muss mittel- und langfristig so aufgestellt sein, dass die Konjunkturzyklen der Wirtschaft ohne Verwerfungen überstanden werden können. Dafür ist es notwendig, sowohl genügend Projekte von industriellen Auftraggebern, die unsere Daseinsberechtigung darstellen, als auch Projekte für die Vorlauforschung zu haben, mit deren Hilfe wir uns einen technologischen Vorsprung erarbeiten, der für die Akquisition künftiger Industrieprojekte zwingend ist. Dies ist uns in den letzten Jahren für das Geschäftsfeld Abtragen und Trennen gut gelungen.

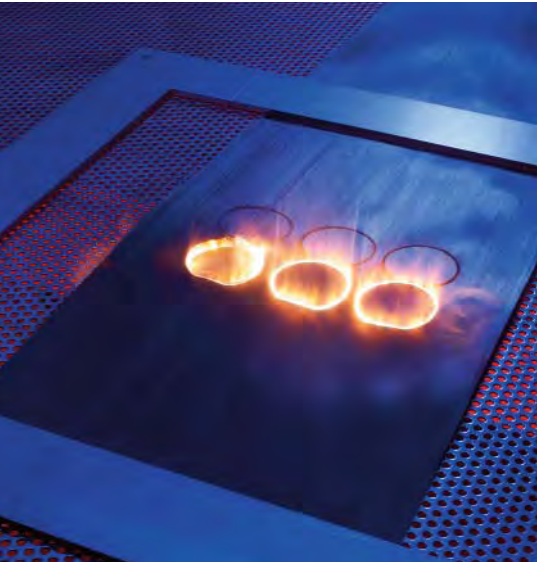
Redaktion: Elektromobilität ist ein sehr wichtiges Thema geworden. Welche Forschungsschwerpunkte haben sich für Ihre Abteilung daraus ergeben?

Dr. Wetzig: Als Anbieter von Querschnittstechnologien haben wir auf dem Gebiet der Elektromobilität in der Tat einiges beizutragen. So beschäftigen wir uns in einem Forschungsschwerpunkt mit dem Trennen von Batteriefolien. Hierbei kommt das Remote-Schneiden mit Hilfe von cw-Faserlasern hoher Brillanz sowie mit Hilfe von gepulsten Festkörperlasern zur Anwendung. Außerdem haben wir zusammen mit einem Industriepartner ein strategisches Vorhaben begonnen, dessen Ziel die Ermittlung der Beeinflussung der magnetischen Eigenschaften von Elektroblechen beim Schneiden mit dem

Laser ist. Der Kreis zur Elektromobilität schließt sich, wenn es um die Fertigung möglichst verlustarmer elektrischer Antriebe für Elektrofahrzeuge geht. Zu berücksichtigen ist, dass die Elektromobilität selbst nur einen Teilaspekt des von der Fraunhofer-Gesellschaft definierten Marktes von Übermorgen »Verlustarme Erzeugung, Verteilung und Nutzung elektrischer Energie« darstellt. In diesen erweiterten Rahmen passen die Forschungsarbeiten zur Optimierung von Generator- und Transformatorblechen mit dem Laser und auch die Arbeiten zur Reibungsminderung von Komponenten im Antriebsstrang von Fahrzeugen mit Hilfe der Laserinterferenzstrukturierung in ganz besonders guten Maße.

Redaktion: Inwieweit können Sie erste Forschungsergebnisse zur Eigenschaftsoptimierung von organischen bzw. Dünnschicht-Solarzellen veröffentlichen?

Dr. Wetzig: Das Gebiet der Photovoltaik haben wir schon länger im Fokus. Bisher fehlten uns jedoch die für die Entwicklungen erforderlichen Laserquellen und Bearbeitungsverfahren. Mit der Verfügbarkeit von Ultrakurzpulslasern (d.h. wir besitzen seit kurzem sowohl einen leistungsstarken Pikosekundenlaser als auch einen Femtosekundenlaser) und der Entwicklung der Laserinterferenzstrukturierung als neues Verfahren für die effiziente großflächige Strukturierung haben wir die Voraussetzungen für die erfolgreiche Akquisition von Projekten geschaffen. Unsere Bemühungen tragen auch schon erste Früchte, nur müssen wir vorerst auf Wunsch unserer industriellen Auftraggeber bei den meisten Projekten Vertraulichkeit wahren. Beim Thema Strukturierung von organischen Solarzellen sind wir gerade dabei, bei einem öffentlichen Zuwendungsgeber einen Projektantrag zu stellen, so dass wir bei diesem Thema unsere Forschungsergebnisse in der Zukunft publizieren werden können.



KOMPETENZEN

HIGH-SPEED-LASERBEARBEITUNG

Forschungsschwerpunkte sind verfahrens- und systemtechnische Entwicklungen für Hochgeschwindigkeitsanwendungen. Dabei bildet das Prozessverständnis die Basis für die erfolgreiche Umsetzungen verschiedenster Aufgabenstellungen der Technologie- und Systementwicklung in die industrielle Anwendung. Höchste Prozessgeschwindigkeiten kennzeichnen die angebotenen Verfahren und Lösungen. Das Leistungsspektrum umfasst neben der Technologieentwicklung von Remote-Prozessen zum Schweißen, Schneiden und Oberflächenbehandeln von Metallen und Nichtmetallen auch das Entwerfen, Aufbauen und Qualifizieren hochdynamischer Bearbeitungssysteme. Des Weiteren existiert eine breite Palette von Scannersystemtechnik, u.a. Eigenentwicklungen, die auf die speziellen Kundenbedürfnisse zugeschnitten werden.

SCHNEIDEN

Forschungsschwerpunkte sind Verfahrensentwicklungen auf dem Gebiet des Laserschmelzschneidens. So geht es z. B. um die Verbesserung der Schneidqualität beim Trennen mit Festkörperlasern oder um die Optimierung des Laserschneidens von Elektroblechen unter Beibehaltung der magnetischen Eigenschaften. Darüber hinaus steht die Qualifizierung neuartiger Schneidverfahren wie das Remote-Laserschneiden für die Fertigungsintegration im Mittelpunkt. Dafür stehen Laser unterschiedlicher Wellenlänge, Leistung und Strahlqualität zur Verfügung. Außerdem existieren Möglichkeiten, die Bearbeitungsergebnisse zu charakterisieren, angefangen von Rauheitsmessungen an der Schnittkante bis zu detaillierten Gefügeuntersuchungen in Schnittkantennähe mittels REM und TEM.

MIKROBEARBEITEN

Die umfangreiche und moderne Ausstattung sowie das fundierte Know-how ermöglichen angewandte Forschung zur Mikro- und Feinbearbeitung mit Laserstrahlen für die Miniaturisierung von Funktionselementen im Maschinen-, Anlagen-, Fahrzeug- und Gerätebau sowie in der Bio- und Medizintechnik. Beispiele sind die Erzeugung von 3D-Strukturen im Sub-mm-Bereich und Flächenstrukturen an Polymeren, Metallen, Keramiken oder quarzitischen und biokompatiblen Werkstoffen sowie das Reinigen mittels Lasertechnik.

OBERFLÄCHFUNKTIONALISIERUNG

Mit neuen Methoden zur Herstellung von 2- und 3-dimensionalen Mikro- und Nanostrukturen auf Polymeren, Metallen, Keramiken und Beschichtungen gelingt es, strukturierte Oberflächen zu erzeugen, die über makroskopische Bereiche hinweg Mikro- bzw. Nano-Merkmale aufweisen. Zusätzlich zur Topographie können auch die elektrischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften periodisch variiert werden. Diese strukturierten Oberflächen können unter anderem in der Biotechnologie, in der Photonik und in der Tribologie eingesetzt werden.

ABTEILUNGSLEITER

DR. ANDREAS WETZIG

Telefon +49 351 83391-3229
andreas.wetzig@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER HIGH-SPEED-LASERBEARBEITUNG

DR. JAN HAUPTMANN

Telefon +49 351 83391-3236
jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER SCHNEIDEN

DR. ANDREAS WETZIG

Telefon +49 351 83391-3229
andreas.wetzig@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER MIKROBEARBEITEN

DR. UDO KLOTZBACH

Telefon +49 351 83391-3252
udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER OBERFLÄCHENFUNKTIONALISIERUNG

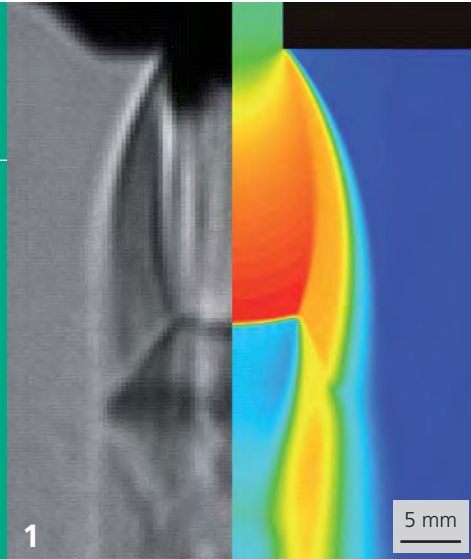
DR. ANDRÉS-FABIÁN LASAGNI

Telefon +49 351 83391-3007
andres-fabian.lasagni@iws.fraunhofer.de



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2011

- | | |
|--|----|
| 1. Untersuchung zur Gasdynamik beim Laserstrahl-schneiden | 22 |
| 2. »Laser Remote Punch« – Alternatives Fertigungsverfahren für stanz-biegetechnische Anwendungen | 24 |
| 3. Trennen von Elektrodenmaterial mit Kurzpulslasern | 26 |
| 4. Dynamische Mikro-Reaktor-Plattform mit integrierten Mikropumpen und Mikrostrukturen | 28 |
| 5. Großflächige Herstellung von Nanostrukturen für effizientere organische Solarzellen | 30 |
| 6. Laserbehandlung von kornorientiertem Elektroblech | 32 |



UNTERSUCHUNGEN ZUR GASDYNAMIK BEIM LASERSTRAHLSCHNEIDEN

DIE AUFGABE

Das Laserstrahlschneiden ist eine bewährte Technologie zum Trennen von metallischen Werkstoffen in einem großen Blechdickenbereich. Beim Laserstrahlschmelzschnitten werden ein Laser- und ein Schneidgasstrahl üblicherweise koaxial entlang einer vorgegebenen Schneidkontur geführt. Der Laserstrahl erhitzt das Material auf Temperaturen oberhalb des Schmelzpunktes, welches dann durch den Schneidgasstrahl aus dem Schnittspalt ausgetrieben wird. Die zur Prozessunterstützung eingesetzte Gasströmung ist gekennzeichnet durch das große Verhältnis von Kessel- zu Umgebungsdruck. Physikalisch handelt es sich bei dem verwendeten Gasstrahl um eine kompressible, reibungsbehaftete Strömung, die sowohl Überschall- als auch Unterschallregionen beinhaltet. Die Lage und Stärke der damit verbundenen Verdichtungsstöße beeinflusst die resultierende Gasströmung und die sich daraus ergebenden Schubspannungen an Schneidfront und Flanke maßgeblich. Ziel der Untersuchungen zur Gasdynamik ist es, die hauptsächlich in Form von Erfahrungswissen vorliegenden Erkenntnisse zu den Wechselbeziehungen der Einflussgrößen zu begründen und zu vervollständigen. Darüber hinaus bietet die Simulation die Chance zum Einblick in nicht direkt zu beobachtende Zusammenhänge und ermöglicht damit die Entwicklung eines tieferen Prozessverständnisses.

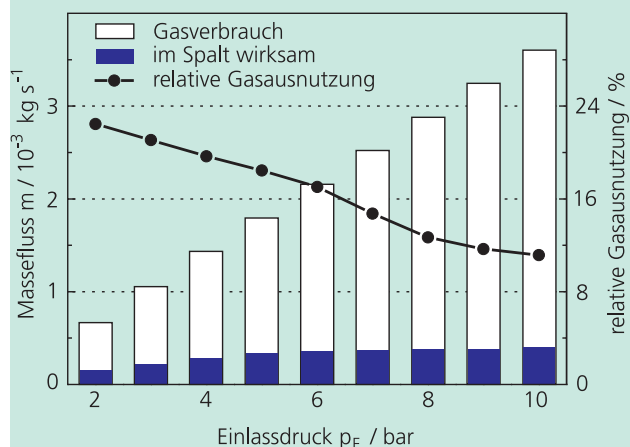
UNSERE LÖSUNG

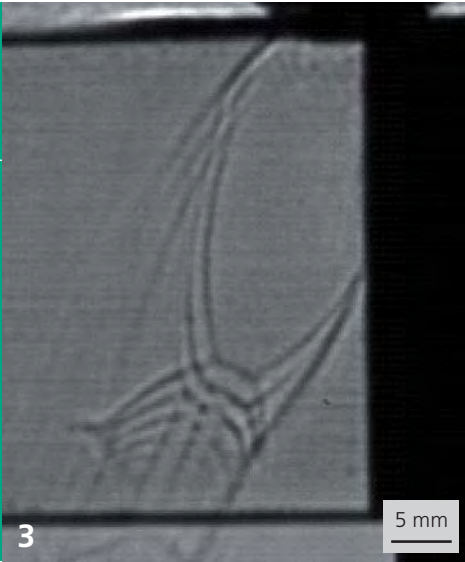
Für eine systematische Analyse grundlegender Zusammenhänge zwischen Prozessparametern und der sich ergebenden Schneidgasströmung wurde am Fraunhofer IWS ein Simulationsmodell entwickelt. Das kompressible und reibungsbehaftete Prozessgas wird mit Hilfe der Kontinuitätsgleichungen für Masse, Impuls und Energie und eines zur

Darstellung transsonischer Strömungen geeigneten Turbulenzmodells als ideales Gas beschrieben. Die Lösung des resultierenden Gleichungssystems bedarf speziell problemangepasster Lösungsstrategien, da es sich um ein stark gekoppeltes System nichtlinearer Gleichungen handelt.

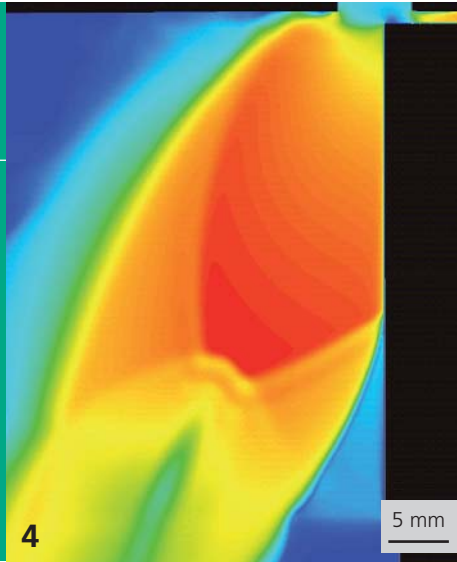
Der zur Validierung des entwickelten Modells erfolgte Vergleich der Simulationen mit Ergebnissen von Schlierenanalysen ergab eine gute Übereinstimmung bezüglich der Lage und Ausdehnung des Überschallgebietes und der zugehörigen Verdichtungsstöße im Freistrah (Abb. 1) und im Modellschnittspalt (Abb. 3 und 4).

Gasverbrauch und relative Gasausnutzung in Abhängigkeit vom Gasdruck für eine konische Düse mit 3 mm Durchmesser (Spaltbreite 0,4 mm, Blechdicke 6,0 mm)





3



4

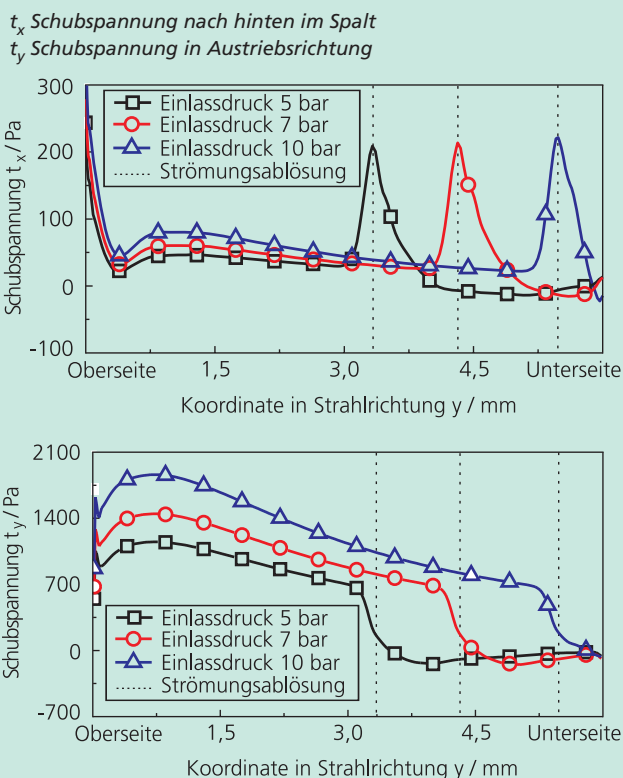
ERGEBNISSE

Das am Fraunhofer IWS erstellte Modell ermöglicht die Untersuchung grundlegender Wirkzusammenhänge anhand von Parameterstudien. Hinsichtlich ihres Einflusses auf die sich einstellende Schneidgasströmung wurden insbesondere Schneidgasdruck, Düsenabstand, Düsendurchmesser, Blechdicke, Schnittspaltbreite und Spaltform quantifiziert. Mit Hilfe der Simulationen können der zu erwartende Gasverbrauch in Abhängigkeit vom verwendeten Schneidgasdruck und der tatsächlich im Schnittspalt wirksame Gasanteil prognostiziert werden (Abb. 2). Die Auswirkung der Struktur der Überschallströmung auf die an der Schmelzoberfläche wirkenden Gaskräfte wird durch die Analyse der erreichten Schubspannungen im Schnittspalt in Strahlausbreitungs-

richtung und nach hinten im Spalt aufgezeigt (Abb. 5). Damit werden Voraussagen über die Austriebeigenschaften des Gasstrahls beim Laserstrahlschneiden ermöglicht.

Die Verwendung des erarbeiteten Simulationsmodells unterstützt die Entwicklung neuartiger Düsenkonzepte zur Realisierung optimaler Prozessbedingungen beim Laserstrahlschneiden. Die Erfahrungen aus der Schneidgassimulation sind außerdem nützlich für die Modellimplementierung anderer Lasermaterialbearbeitungsverfahren, bei denen Prozessgase maßgeblichen Einfluss auf das Bearbeitungsergebnis ausüben.

Schubspannungen am Übergang zwischen Front und Flanke in Abhängigkeit vom Abstand zur Materialoberseite und vom Gasdruck (Spaltbreite 0,4 mm, Blechdicke 6,0 mm)



5

- 1 Vergleich von Schlierenanalyse und Simulation für den Freistrahls einer konischen Düse bei 15 bar Gasdruck
- 3 Schlierenphotografie der Schneidgasströmung einer konischen Düse im Modellschnittspalt bei 15 bar Gasdruck
- 4 Simulation der Schneidgasströmung mit den Parametern der Schlierenanalyse aus Abb. 3

KONTAKT

Dipl.-Math. Madlen Borkmann
 Tel.: +49 351 83391-3407
 madlen.borkmann@iws.fraunhofer.de



»LASER REMOTE PUNCH« - ALTERNATIVES FERTIGUNGSVERFAHREN FÜR STANZ-BIEGETECHNISCHE ANWENDUNGEN

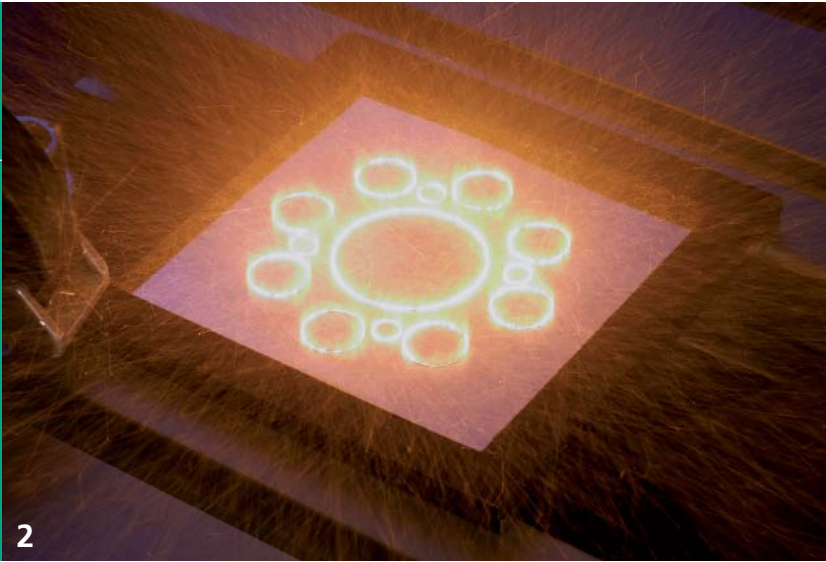
DIE AUFGABE

Der Einsatz von Stanz-Biegeteilen aus metallischen Materialien ist in vielen Branchen weitverbreitet. In der Großserie werden sie derzeit hartautomatisiert durch den Einsatz von Folgeverbundwerkzeugen hergestellt, welche in der Regel aus einem Schneid- und einem Biegemodul bestehen. Die Fertigung wird dabei zunehmend durch drei wesentliche Herausforderungen getrieben: die Funktionalisierung der genutzten Werkstoffe, die Senkung der Produktionskosten sowie die Verkürzung der durch den Kunden akzeptierten Lieferzeiten. Beispielhaft genannt sei hier der Trend zur Nutzung federharter Bänder aus CrNi-Stählen mit Festigkeiten oberhalb 1350 MPa auch bei Materialdicken von 0,5 mm, was zum ungeplanten Werkzeugversagen und Produktionsstillstand führt sowie den geometrischen Gestaltungsfreiraum von Stanz-Biegeteilen zunehmend einengt. Um diesen Anforderungen auch in Zukunft gerecht zu werden, wird im Rahmen des Projektes »Laser Remote Punch« das Remote-Laserstrahlschneiden als alternatives Fertigungsverfahren für stanz-biegetechnische Anwendungen untersucht. Ziel der Untersuchungen ist es, ein Konzept zur Substitution des Schneidmoduls eines konventionellen Folgeverbundwerkzeuges durch ein Remote-Laserstrahlschneidmodul zu entwickeln.

UNSERE LÖSUNG

In Anbetracht der Aufgabenstellung ergibt sich als zu lösende Themenstellung die trennende Bearbeitung von höherfesten metallischen Materialien in einem Dickenbereich bis 0,5 mm. Auf Grundlage des sich damit ergebenden Teilespektrums eines Projektpartners definieren sich die quantitativen und qualitativen Anforderungen. Neben den entsprechenden Taktzeiten ist vor allem dem Einhalten der geforderten Bauteiltoleranzen eine entscheidende Bedeutung beizumessen.

Zur Evaluierung der Anwendbarkeit des Remote-Schneidens wird mit höchsten Leistungsdichten im Durchmesser der Strahltaile bei moderaten Laserleistungen gearbeitet. Dies bedingt die Nutzung höchstbrillanter Strahlquellen, um die erforderlichen Durchmesser der Strahltaile im Bereich $< 50 \mu\text{m}$ abzubilden. Weiterhin finden hochdynamische Spiegelablenksysteme Verwendung, um die geforderten Taktzeiten zur Herstellung von Stanz-Biegeteilen umzusetzen. Außerdem erfordern die gewünschten Taktzeiten das Arbeiten mit einer Strahlquelle, welche ihre Leistung kontinuierlich im cw-Betrieb emittiert. Die konsequente Reduzierung der bewegten Massen erlaubt eine nahezu konturtreue Bearbeitung der gewünschten Bauteilgeometrie.



2

ERGEBNISSE

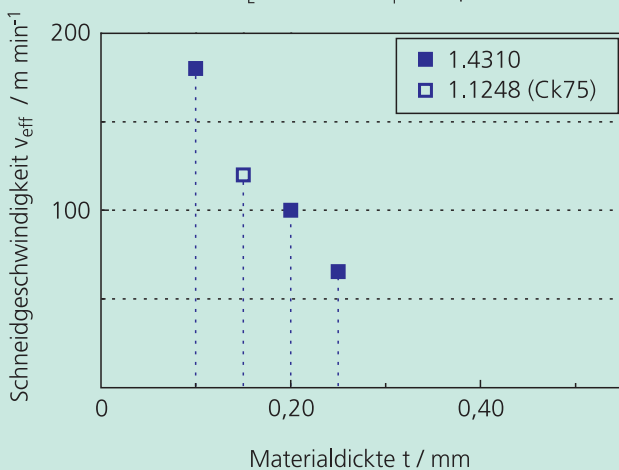
Die erreichten Schneidgeschwindigkeiten bzw. Teiletaktzeiten mittels Remote-Schneiden lassen sich mit jenen vergleichen, die beim derzeitigen Stanzprozess erzielt werden. Sie liegen im definierten Zielbereich und offenbaren das erhebliche Potenzial des alternativen Fertigungsverfahrens »Laser Remote Punch« für die Herstellung von Stanz-Biegeteilen. Die Untersuchungen belegen, dass bei 1000 W Laserausgangsleistung Materialdicken bis 0,25 mm sicher getrennt werden können. Die erreichten Schneidgeschwindigkeiten werden hauptsächlich durch die bearbeitete Materialdicke bestimmt und liegen im Bereich zwischen 70 m min^{-1} und 180 m min^{-1} (Abb. 3). Somit lassen sich typische Stanz-Biegeteile in wenigen Zehntel Sekunden fertigen. Stückzahlen im Bereich von mehreren

hundert pro Minute sind realisierbar. Die weiterführenden Untersuchungen zeigen, dass durch Auswahl geeigneter Systemtechnik geometrische Konturelemente wie Winkelgeometrien, Linienlängen und Stegbreiten innerhalb des geforderten Toleranzbereiches herstellbar sind. Unter Nutzung der am Fraunhofer IWS permanent weiterentwickelten Software *PathControl* lassen sich auch kritische Elemente, wie beispielsweise Kreisgeometrien mit Durchmessern kleiner 1 mm bei Bearbeitungsgeschwindigkeiten von über 10 m s^{-1} unter Einhaltung der am Bauteil geforderten Toleranzen von $< 0,05 \text{ mm}$ abbilden.

Anhand der Untersuchungen im Rahmen des Projektes wird das Potenzial des Remote-Schneidens als alternative Fertigungstechnologie für Stanz-Biege-Teile deutlich. Sowohl die ermittelten Teiletaktzeiten als auch die erreichten Bauteilgenauigkeiten beweisen die kommerzielle Verwertbarkeit der Remote Schneidtechnologie für die Umsetzung einer großserientauglichen Fertigung von Stanz-Biegeteilen.

Erreichbare effektive Schneidgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Materialdicke als Quotient aus Bearbeitungsgeschwindigkeit und Anzahl der Abtragszyklen

$$P_L = 1000 \text{ W}, d_f = 30 \mu\text{m}$$



3

- 1 Stanz-Biegestreifen (nach Vorlage von Scheuermann + Heilig GmbH)
- 2 Prozessaufnahme Remote-Schneiden

KONTAKT

Dr. Matthias Lütke
 Tel.: +49 351 83391-3292
matthias.luetke@iws.fraunhofer.de





TRENNEN VON ELEKTRODENMATERIAL MIT KURZPULSLASERN

DIE AUFGABE

Elektromobilität stellt einen zentralen Entwicklungsschwerpunkt für die weltweite Automobilindustrie dar. Elektrofahrzeuge fahren emissionsfrei und verkörpern somit die Zukunft unserer Mobilität. Um dieses Zukunftsziel zu erreichen, wird neben anderen Herausforderungen auch an kostengünstigen, großserientauglichen Produktionstechniken der erforderlichen Energiespeicher geforscht. Ein Teilaspekt der Entwicklungsarbeiten ist hierbei die Konfektionierung des bandförmigen Materials in die gewünschten Endkonturen der drei elementaren Bestandteile von Lithium-Ionen-Zellen – Anode, Kathode und Separator. Mehrschichtsysteme aus beidseitig mit Graphit bzw. Lithium-Metalloxid beschichteten Metallfolien (Kupfer bzw. Aluminium) bilden die aktiven Elektroden. Aus der Kombination unterschiedlicher Materialien resultieren Herausforderungen für den Trennprozess.

Hochproduktive Stanzprozesse stellen den Stand der Technik beim Konfektionieren der Elektrodenmaterialien dar. Hauptnachteile der Stanztechnik liegen in der geringen Flexibilität starrer Werkzeuge und im permanenten Werkzeugverschleiß beim Trennen der keramischen Materialien, wodurch sich die Qualität der Schnittkanten fortlaufend verringert. Das Laserstrahltrennen als kontakt- und verschleißfreies Verfahren kann hier eine Alternative darstellen. Weiterer Vorteil der Lasertechnik ist die hohe Flexibilität des Verfahrens insbesondere bei variablen Schneidkonturen. Die verglichen mit dem Stanzen höheren Taktzeiten stellten bisher einen entscheidenden Nachteil klassischer Laserschneidverfahren dar.

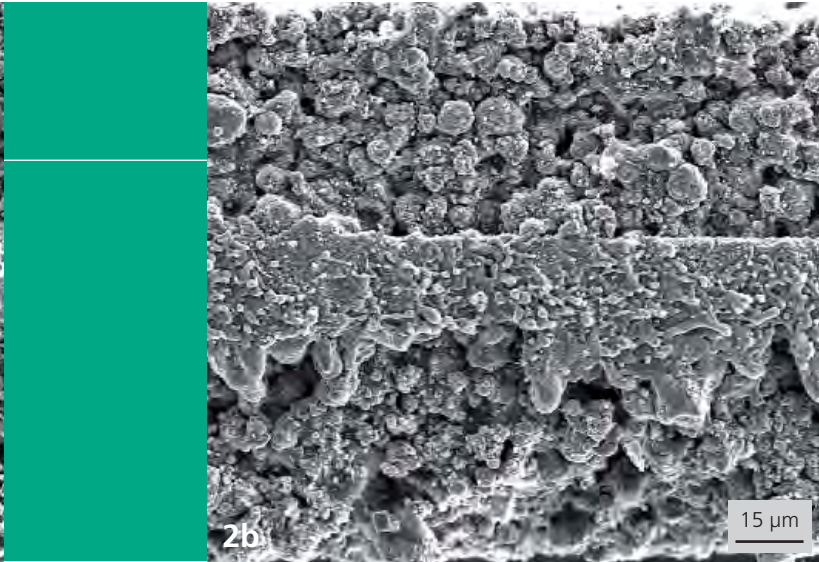
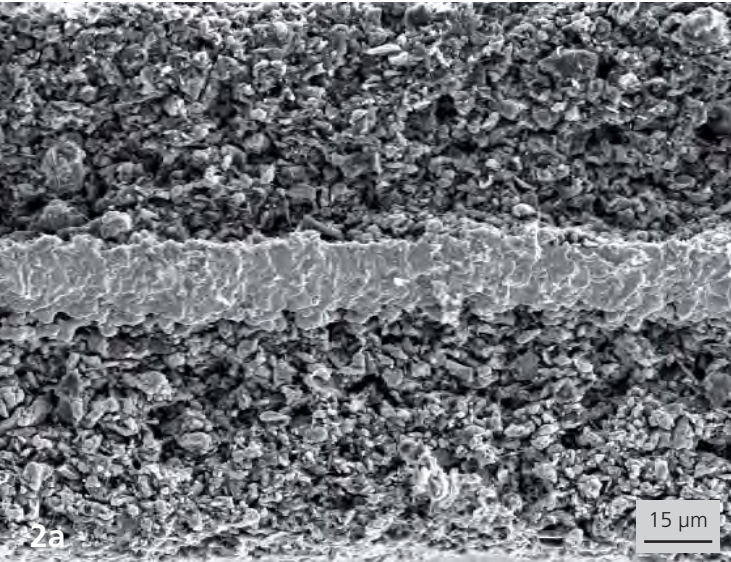
Durch den Einsatz von Laserstrahlquellen höchster Strahlqualität in Verbindung mit dynamischen Remote-Prozessen sollen diese Limitierungen überwunden werden.

UNSERE LÖSUNG

Beim Laser-Remote-Schneiden mit hochdynamischer Strahlablenkung können sehr hohe Bahngeschwindigkeiten realisiert werden, da bewusst auf die Gasunterstützung des konventionellen Laserstrahlschneidens verzichtet und der Laserstrahl mittels hochdynamischer Galvanometerscanner entlang der Schnittkontur bewegt wird. In Kombination mit Strahlquellen hoher Strahlqualität werden insbesondere bei gepulsten Lasersystemen extrem hohe Intensitäten im Bearbeitungsfleck erreicht. Unter diesen Voraussetzungen lässt sich ein effektiver Trennprozess durch einen dampfförmigen Materialabtrag realisieren.

Um eine lange Lebensdauer der Lithium-Ionen-Zellen sicherzustellen, werden an die Schnittkanten hohe qualitative Anforderungen gestellt. Ein Wärmeeintrag in die Schnittflanken ist zu vermeiden, um einen unerwünschten Abtrag oder die Modifikation des aktiven Schichtmaterials entlang der Schnittkante zu minimieren. Weiterhin können Ablagerungen des abgetragenen Materials, insbesondere größere Partikel zu Kurzschlüssen in der Zelle führen.

In umfangreichen Untersuchungen mit gepulsten Laserstrahlquellen wurden am Fraunhofer IWS für das Trennen von Anoden- und Kathodenmaterialien Technologien entwickelt und optimiert. Der Einfluss zentraler Prozessgrößen, beispielsweise der Pulsdauer, auf die Qualität der Schnittkanten wurde analysiert.



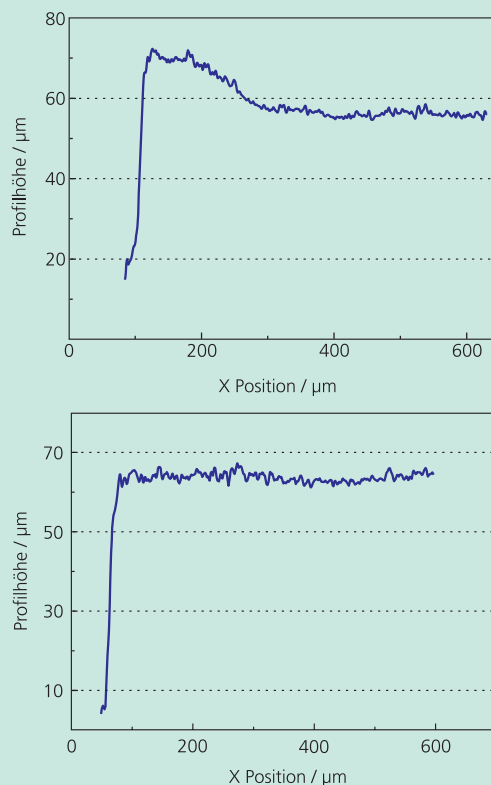
ERGEBNISSE

Abbildung 2a und 2b zeigen die REM-Bilder einer typischen Schnittkante bei Bearbeitung mit kurzgepulsten Festkörperlaser. Größe und Menge von auf den Oberflächen verbliebenen Partikeln abgetragenen Materials sind so gering, dass sie keine Einschränkung für die weitere Verarbeitung darstellen. Unter identischen Randbedingungen (40 W mittlere Leistung, Wellenlänge 1 µm, Spotdurchmesser 25 µm) konnten Anoden- und Kathodenfolien mit hoher Qualität getrennt werden und der Einfluss zweier Pulsdauern (30 ns und 10 ps) auf das Prozessergebnis ermittelt werden. Mit beiden Pulsdauern sind bei gleicher Ausgangsleistung nahezu identische Schnittgeschwindigkeiten bis 30 m min⁻¹ realisierbar. Für Trenngeschwindigkeiten im Bereich 60 m min⁻¹ werden Laserleistungen größer 100 W benötigt.

An der Schnittkante kann der Abtrag des aktiven Schichtmaterials von der metallischen Trägerfolie durch Optimierung von Fokusdurchmesser und Intensität bzw. Pulsenergie minimiert werden. Der Übergang zu ultrakurzen Laserpulsen im ps-Bereich reduziert messbar die Wärmebeeinflussung sowie die Entstehung von Ablagerungen entlang der Schnittkante. Dies zeigen die in Abbildung 3 dargestellten Oberflächenprofile deutlich am Beispiel des Anodenmaterials, bei welchem Erwärmung zur Volumenzunahme führen kann. Aufgrund der minimalen Wechselwirkungszeit erfolgt der Materialabtrag mit ps-Pulsen ohne erkennbare thermische Beeinflussung.

Die beschriebenen Ergebnisse wurden im Rahmen des vom BMBF (Förderkennzeichen 02PO2640; 02PK2641/2642) geförderten Projektes DeLIZ erarbeitet, in dem weiterhin die Eignung von Hochleistungs-cw-Faserlasern zum Trennen der Elektroden mit Geschwindigkeiten bis 700 m min⁻¹ demonstriert wurde.

Vergleich der Oberflächenprofile im Bereich der Schnittkante: messbare Überhöhung der Oberfläche aufgrund von Wärmeintrag und Ablagerungen abgetragenen Materials bei Nanosekundenpulsen (oben); ebenes Oberflächenprofil ohne messbare thermische Beeinflussung bei Pikosekundenpulsen (unten)



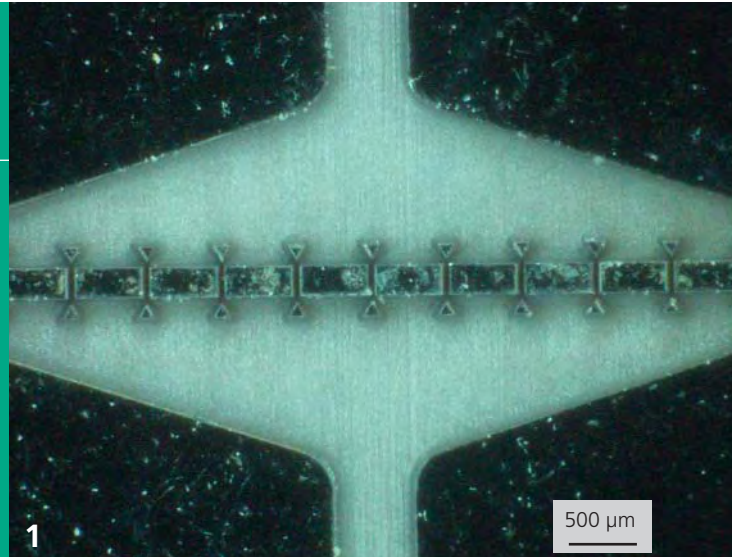
3

- 1 Beispiel Elektroauto
- 2 REM-Aufnahme der Schnittflanke einer lasergeschnittenen Elektrode
 - a) Kathode
 - b) Anode

KONTAKT

Dipl.-Ing. Volker Franke
 Tel.: +49 351 83391-3254
 volker.franke@iws.fraunhofer.de





DYNAMISCHE MIKRO-REAKTOR-PLATTFORM MIT INTEGRIERTEN MIKROPUMPEN UND MIKROSTRUKTUREN

DIE AUFGABE

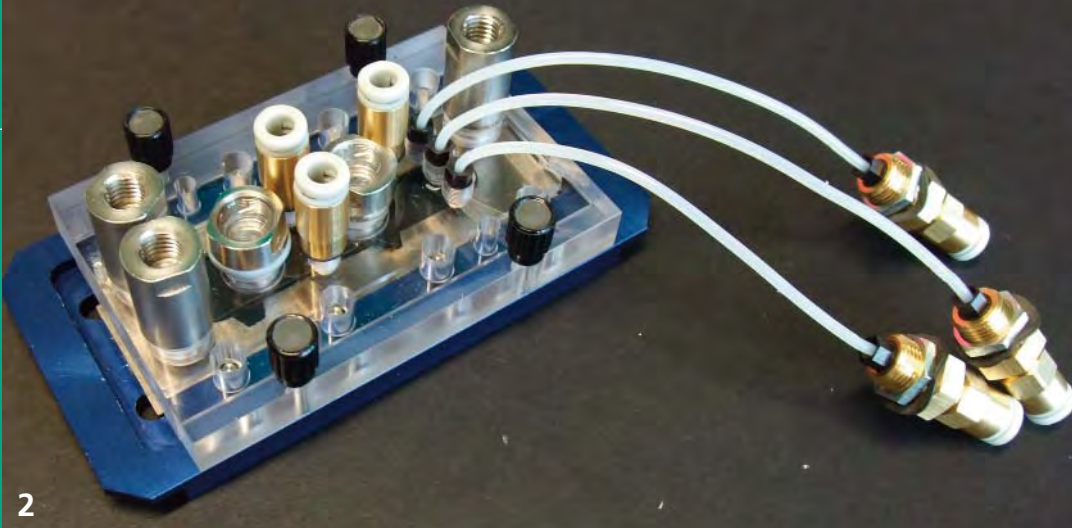
Mikroreaktoren ermöglichen durch ihren hohen Grad an Miniaturisierung und Automatisierung die Umsetzung komplexer chemischer und biologischer Abläufe mit minimalem technischem und personellem Aufwand. Neben geringen Investitions- und Betriebskosten zeichnen sich diese Systeme durch eine sehr kompakte Bauweise, eine hohe Funktionsdichte und ein einfaches Handling aus. Die kurzen Informationswege ermöglichen kurze Reaktionszeiten. Parallel kann durch Einsparung zahlreicher Leitungen und Verbindungsstellen die Zuverlässigkeit erhöht werden. Durch die Intensivierung von Wärme- und Stofftransport ergeben sich reaktionstechnische Vorteile wie verbesserte Produktreinheiten, -ausbeuten und -selektivitäten, höhere Prozesssicherheiten sowie der Zugang zu neuen Verfahren und Applikationen. Die Integration komplexer Mikrostrukturen ermöglicht die Realisierung definierter Mikromilieus.

Mikroreaktoren gewinnen in vielen Bereichen der chemisch-pharmazeutischen Synthese, der Umweltanalytik, der molekularbiologischen Diagnostik, der Wirkstoffforschung oder der Substanztestung zunehmend an Bedeutung. Für die Übertragung bestehender Prozesse auf Mikroreaktoren sowie die Entwicklung neuer Prozesse wird eine dynamische Mikro-Reaktor-Plattform benötigt, mit welcher die notwendigen Grundkomponenten wie Pumpen, Ventile, Reaktionskammern, Mischer und Wärmetauscher schnell und flexibel miteinander kombiniert werden können. Die entstehenden Mikroreaktoren sollen über einen weiten Bereich chemisch, mechanisch und thermisch stabil sein, um ein großes Spektrum an Prozessparametern abzudecken.

UNSERE LÖSUNG

Sehr gute Ergebnisse konnte das Fraunhofer IWS mit anwendungsspezifischen Mikroreaktoren erzielen, die schnell und flexibel als Mehrlagensystem aus der Materialkombination Silikon, Glas und Metall oder Polymer hergestellt werden. Für die Realisierung eines Mikroreaktors wird eine Flusszelle aus Polydimethylsiloxan an eine Anschlussplatte aus Metall oder Polymer angegossen und anschließend gegen eine Abschlussplatte gedichtet. In die An- und Abschlussplatte können Mikrostrukturen, Anschlüsse, Sensoren (Elektroden, Mikrolinsen, Lichtleitfasern) und Aktoren (Heizelemente, Elektromagnete, Piezoschwinger) integriert werden. Die Flusszelle beinhaltet das Mikrofluidiksystem, bestehend aus Kanälen, Mikromischern, Pumpen und Ventilen sowie optionalen Sensoren und Aktoren. Sie wird durch Abformung von einem Masterwerkzeug gefertigt. Dieses wird mit der am IWS etablierten Lasermikromaterialbearbeitungstechnologie oder lithographisch gefertigt. Über die Einschraubtiefe der Formeinsätze kann die Dicke von Pump- und Ventilmembranen definiert eingestellt werden.

Bedingt durch den modularen Aufbau können die Mikroreaktoren schnell und flexibel an die jeweilige Applikation angepasst werden. So können Reaktionsräume durch Verwendung von Glas-, Polymer- und Silikonwerkstoffen optisch zugänglich und elektrisch isolierend gestaltet werden, was eine optische Überwachung der Prozesse und die Integration photo- und elektrochemischer Funktionalitäten ermöglicht. Eine Anschlussplatte aus Metall ermöglicht einen effektiven Wärmetransport.



2

ERGEBNISSE

Basierend auf der etablierten, dynamischen Mikro-Reaktor-Plattform wurden erfolgreich anwendungsspezifische Mikroreaktoren mit integrierten Mikropumpen und Mikrostrukturen realisiert und charakterisiert.

Beispiel 1:

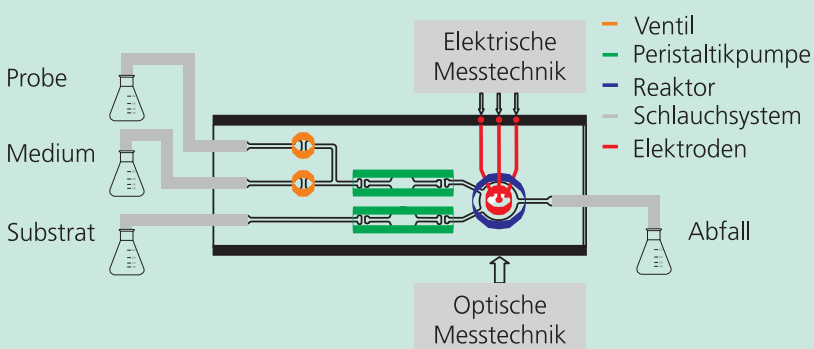
Für die Bestimmung umweltrelevanter Substanzen über einen Hefezellsensor mit optischer oder elektro-chemischer Detektion wurde ein Mikroreaktor entwickelt und erfolgreich getestet, welcher die als Sensorelement eingesetzten Hefezellen wahlweise kontinuierlich mit Nährstoffen versorgt, ein definiertes Probevolumen zu den Zellen leitet oder eine definierte Menge von Reagenzien für die enzymatische Umsetzung zudosiert (Abb. 1). Die Aktivität der von den Zellen gebildeten Enzyme kann wahlweise optisch über Fluoreszenz und Chemolumineszenz oder elektro-chemisch durch Amperometrie mittels Mikroelektroden erfasst werden. Über integrierte Mikrostrukturen werden die gentechnisch veränderten Zellen in dafür bestimmten Kompartimenten eingeschlossen.

Beispiel 2:

Für die standardisierte nasschemische Nitrat-Bestimmung mit fotometrischer Detektion wurde ein Mikroreaktor entwickelt und erfolgreich getestet, in dem ein definiertes Probenvolumen einer wässrigen Lösung exakt und reproduzierbar in einen Trägerstrom eingegeben wird. Der Trägerstrom transportiert die Probe unter Zugabe von Reagenzien für die chemische Umsetzung durch einen Mikromischer zum fotometrischen Durchflussdetektor (Abb. 3).

Mit der entwickelten dynamischen Mikro-Reaktor-Plattform steht ein Werkzeug für die schnelle und flexible Übertragung bestehender Prozesse auf Mikroreaktoren sowie die Entwicklung neuer Prozesse zur Verfügung (Abb. 2).

Schematischer Aufbau des Mikro-Reaktors für die elektrochemische Detektion umweltrelevanter Substanzen



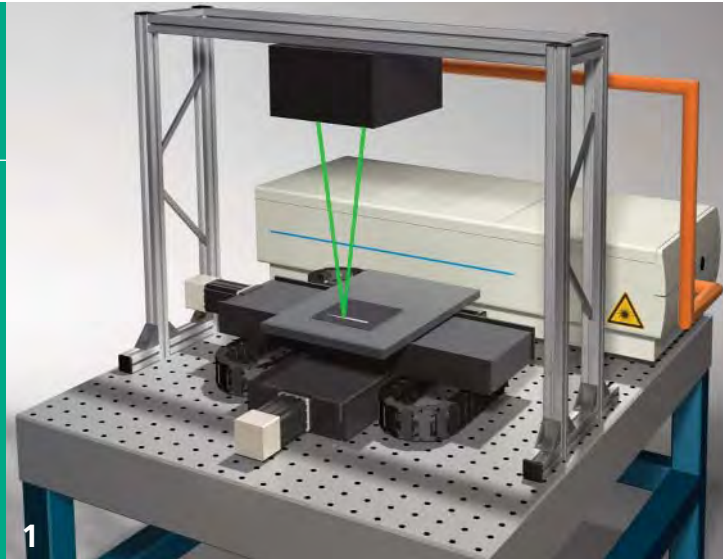
3

- 1 *Mikroskopaufnahme einer Mikrostruktur zum Einschließen gentechnisch veränderter Hefezellen innerhalb des Mikro-Reaktors*
- 2 *Dynamischer Mikro-Reaktor mit integrierten Mikropumpen, Ventilen und Mikrostrukturen*

KONTAKT

Dr. Frank Sonntag
 Tel.: +49 351 83391-3259
 frank.sonntag@iws.fraunhofer.de





GROSSFLÄCHIGE HERSTELLUNG VON NANO-STRUKTUREN FÜR EFFIZIENTERE ORGANISCHE SOLARZELLEN

DIE AUFGABE

Die organische Photovoltaik durchläuft in den letzten Jahren enorme Fortschritte bei der Verbesserung der photoelektrischen Effizienz und bietet zudem die Möglichkeit der Skalierbarkeit auf große und flexible Flächen. Für die weitere Verbesserung der Effizienz ist es notwendig, zusätzlich zu den intrinsischen Eigenschaften der organischen Materialien, die optischen Eigenschaften der Solarzellen zu optimieren. In anderen Dünnschichttechnologien wurde dies durch periodische Strukturierungen oder Aufrauen der Oberflächen bereits erfolgreich demonstriert.

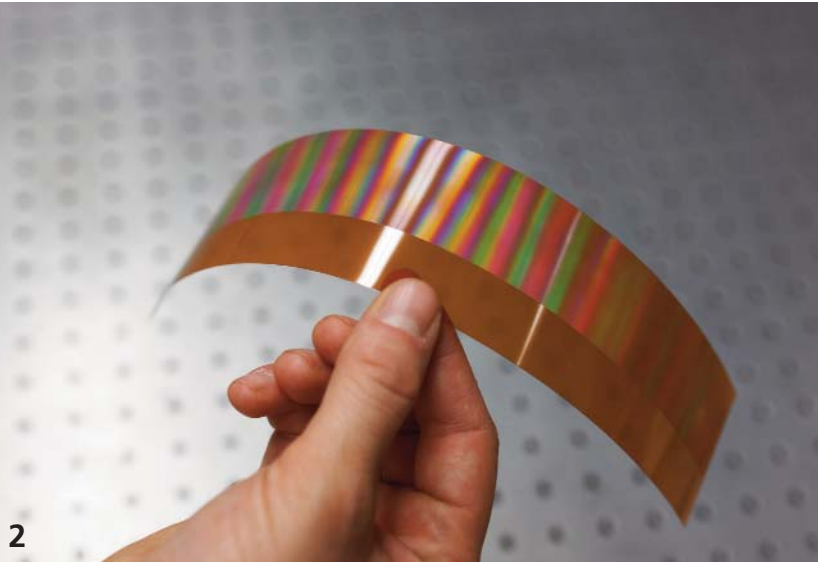
Oberflächenstrukturierungen können die Effizienz von Solarzellen erhöhen, in dem es zur Bragg-Beugung an photonischen Kristallstrukturen kommt, sich sogenannte »light trapping« Geometrien ergeben und der optische Weg des einfallenden Lichtes in dem aktiven Material verlängert wird. Daher sind mikro- und nanostrukturierte Oberflächen bei organischen Solarzellen besonders vorteilhaft.

Strukturierte Oberflächen wurden bereits für unterschiedliche Dünnschichtsolarzellen basierend auf Si, GaAs oder auch organischen Materialien verwendet. Bei der Strukturierung dieser Oberflächen kommen bislang unterschiedliche Technologien wie Lithographie, Drucken oder Prägen zum Einsatz. Außerdem werden vielfach Elektronenstrahl- oder Ionenstrahl-Lithographie-Systeme verwendet, um beispielsweise Strukturen bis unterhalb der optischen Auflösungsgrenze zu erzeugen. Einer industriellen Skalierbarkeit dieser Verfahren

stehen allerdings unterschiedliche Faktoren entgegen. So erfordern viele dieser Techniken mehrere aufwendige Prozessschritte oder kontaminieren die Substratoberflächen. Häufig sind lange Prozesszeiten erforderlich, die zu erheblichen Kosten in der Produktion führen.

UNSERE LÖSUNG

Deutlich kürzere Prozesszeiten bei gleichzeitig hoher Auflösung konnten am Fraunhofer IWS durch die Methode der Direkten Laserstrahlinterferenzstrukturierung (DLIP: Direct Laser Interference Patterning) erzielt werden (Abb. 1). Hierbei können verschiedenste Materialien wie Metalle, Keramiken oder Polymere in einem Prozessschritt mit Mikro- oder Nanostrukturen versehen werden (Abb. 2). Um eine Interferenzstruktur zu erzeugen, werden mindestens zwei kollimierte, kohärente Laserstrahlen auf der Substratoberfläche zur Überlagerung gebracht. Zur Interferenz kommt es im gesamten Überlappungsvolumen der Laserstrahlen. Mit einem Laserpuls können Flächen von bis zu mehreren Quadratzentimetern strukturiert werden. Somit werden effektive Strukturierungsgeschwindigkeiten von einigen Quadratzentimetern pro Sekunde erzielt.



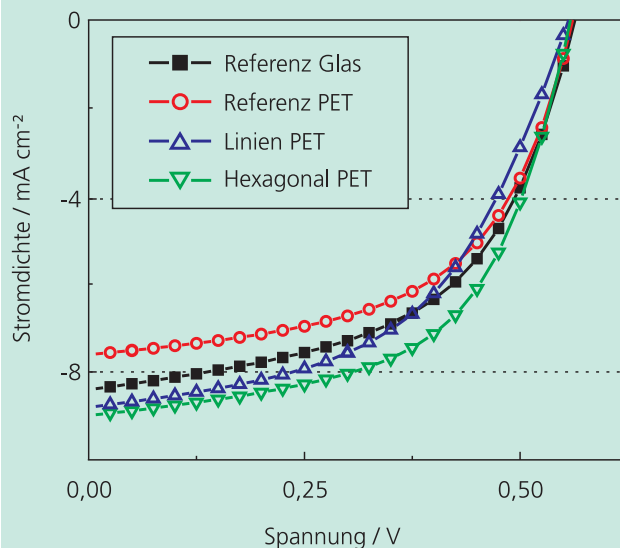
2

ERGEBNISSE

In enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Photophysik (IAPP) der Technischen Universität Dresden wurde die Verbesserung der Effizienz von Solarzellen durch die Strukturierung von PET-Folien mittels DLIP nachgewiesen. Durch die Überlagerung von zwei Laserstrahlen ergibt sich eine lineare Struktur, während drei Laserstrahlen, die nicht in einer Raumbene liegen, eine Punktstruktur ergeben. Die Strukturierungsperiode ergibt sich jeweils aus dem Winkel zwischen den Laserstrahlen und der verwendeten Wellenlänge. Zur Herstellung von gekreuzten Strukturen wie in Abbildung 3 kann das Substrat nach einer linearen Strukturierung um 90° gedreht und ein zweites Mal strukturiert werden. Für die industrielle Umsetzung wurde ein kompaktes Laserinterferenzsystem (Abb. 1) gebaut, mit dem die Strukturierung innerhalb eines in-Line Prozesses möglich ist. Nach der Strukturierung des PET wurde das Substrat mit einer transparenten PEDOT-Elektrode beschichtet, auf der danach eine organische Solarzelle abgeschieden wurde. Anschließend wurden die Solarzellen mit einem Steuernagel SC1200 Sun Simulator charakterisiert. Es zeigt sich, dass Solarzellen auf strukturierten Substraten eine verbesserte Performance auf-

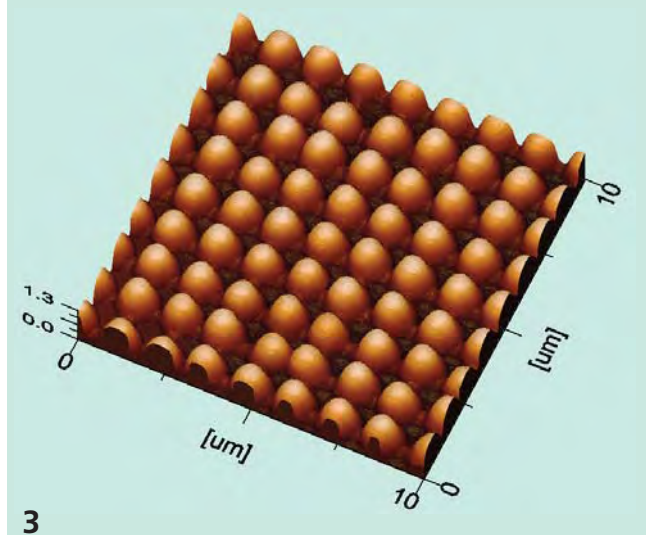
weisen, insbesondere eine niedrigere Stromdichte (Abb. 4). Als besonders vorteilhaft erweisen sich hierbei bei einer Effizienzsteigerung von 21 % hexagonale Strukturen. Bezogen auf eine Referenzsolarzelle auf Glas liegt die Effizienzsteigerung bei 12 %.

Abhängigkeit von Spannung und Stromdichte einer beleuchteten organischen Solarzelle auf strukturiertem PET und Referenzzellen auf PET und Glas



4

DLIP-Gitterstruktur auf Polymer (Rasterkraftmikroskop-Bild)



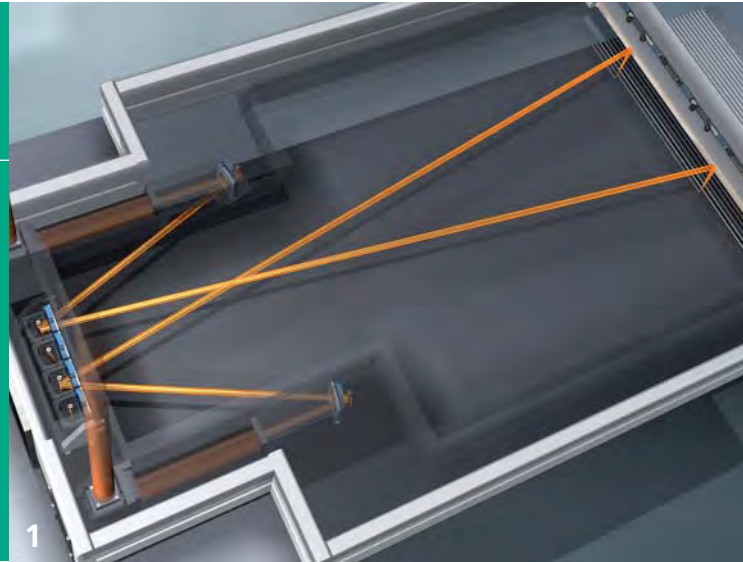
3

- 1 DLIP-System (Animation) am Fraunhofer IWS
- 2 DLIP-strukturierte Polyimidfolie

KONTAKT

Dipl.-Phys. Teja Roch
 Tel.: +49 351 83391-3083
 teja.roch@iws.fraunhofer.de





LASERBEHANDLUNG VON KORNIORIENTIERTEM ELEKTROBLECH

DIE AUFGABE

Der weltweit steigende Energiebedarf, die Dezentralisierung der Stromnetze im Zuge der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energiequellen und die Anstrengungen zur Steigerung der Energieeffizienz führen zum gesteigerten Bedarf nach qualitativ hochwertigen und verlustarmen Transformatoren zur Elektroenergieübertragung. Die magnetischen Eigenschaften von kornorientierten Elektroblechen, welche vorrangig für Leistungs- und Verteilungstransformatoren eingesetzt werden, können durch eine nachträgliche Laserbehandlung verbessert werden. Eine kurzzeitige, lokal eng begrenzte Erwärmung des Elektrobandes führt zur Verfeinerung der magnetischen Domänen und somit zur Reduzierung der Ummagnetisierungsverluste des Kernmaterials.

Hierfür ist eine technologische und systemtechnische Lösung notwendig, welche einfach in bereits vorhandenen Produktionsanlagen oder -linien integriert werden kann. Zudem sind Technologien gefordert, welche unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu einer größtmöglichen Verbesserungen der magnetischen Eigenschaften führen. Auf diese Weise können Verluste weiter reduziert und die Effizienz der Energieübertragung weiter gesteigert werden.

UNSERE LÖSUNG

Das am Fraunhofer IWS entwickelte Strahlablesystem lasertronic® SAO für die Domänenverfeinerung von kontinuierlich bewegtem kornorientiertem Elektroband stellt das Werkzeug zur Bearbeitung der genannten Aufgabenstellung zur Verfügung. Die Laserstrahlung von zwei Laserstrahlquellen wird mithilfe des patentierten Optikkonzepts auf die Blechoberfläche

fokussiert (Abb. 1). Durch die Laserspotbewegung lotsenrecht zur Walzrichtung mit Geschwindigkeiten von bis zu 250 m s^{-1} wird das kontinuierlich bewegte Elektroband bearbeitet. Infolge der lokal und temporär definierten Wechselwirkung zwischen der Laserstrahlung und dem Bandmaterial werden thermische Spannungen in dem Elektroblech induziert. Diese führen zur Verfeinerung der magnetischen Domänen und somit zur Reduzierung der Verluste.

Das Strahlablesystem lasertronic® SAO besteht aus 6 Galvanometerscannern, welche zur hochdynamischen Strahlablesung eingesetzt werden. Mit den zwei unabhängig voneinander einsetzbaren Laserstrahlquellen wird das Elektroband seriell über die gesamte Materialbreite bearbeitet.

Basierend auf dem beschriebenen Strahlablesystem wurde am Fraunhofer IWS gemeinsam mit industriellen Partnern ein LMDR-Testsystem (**L**aser **M**agnetic **D**omain **R**efinement) entwickelt und aufgebaut (Abb. 2). Dieses wird zur Laserbehandlung von kornorientiertem Elektroblech unter prozessnahen Bedingungen eingesetzt. Das Coilhandlingsystem wurde durch eine Verfahrachse ersetzt, so dass Einzelbleche mit einer Größe von bis zu $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ bearbeitet werden können. Für die Integration des LMDR-Testsystems in existierende Produktionsanlagen kann die Verfahrachse entfernt und das Strahlablesystem über dem kontinuierlich bewegten Elektroband platziert werden. Ein offenes Schnittstellenkonzept des LMDR-Testsystems ermöglicht zudem die Integration von verschiedenen Laserstrahlquellen (CO_2 -Laser, Festkörperlaser) für die Elektroblechbehandlung.



ERGEBNISSE

Mit dem entwickelten Strahlablenkensystem lasertronic® SAO und dem darauf basierenden LMDR-Testsystem ist es möglich, die Ummagnetisierungsverluste des Kernmaterials material- und parameterabhängig deutlich zu reduzieren. Das speziell für diese Anwendung entwickelte Steuerungskonzept in Kombination mit dem Strahlablenkensystem ermöglicht die Variation aller einstellbaren Prozessparameter unabhängig von der Bandgeschwindigkeit. Durch die automatische Anpassung der Parameter an die Bandgeschwindigkeit sind gleichbleibende Bearbeitungsbedingungen gewährleistet.

LMDR-Testsysteme sind Spotgeschwindigkeiten von bis zu 300 m s^{-1} möglich. Das LMDR-Testsystem ermöglicht prozessnahe Untersuchungen der laserinduzierten Domänenverfeinerung mit verschiedenen Laserstrahlquellen sowie die kundenspezifische Weiterentwicklung bzw. Optimierung der vorhandenen Systemtechnik.

LMDR-Testsystem Spezifikation

Bearbeitungsbreite	$\leq 1000 \text{ mm}$
Band- bzw. Achsgeschwindigkeit	$0,5 - 90 \text{ m min}^{-1}$
Spotgeschwindigkeit	$\leq 300 \text{ m s}$
Laserstrahlquellen	2 Strahlquellen unabhängig wählbar (CO_2 -Laser, Faserlaser)
Max. Laserleistung	1 kW – 5 kW (abhängig von der Laserstrahlquelle)
Linienabstand	2 – 20 mm (einstellbar)
Materialabmessungen	Blechtafeln bis zu 1 m x 1 m

3

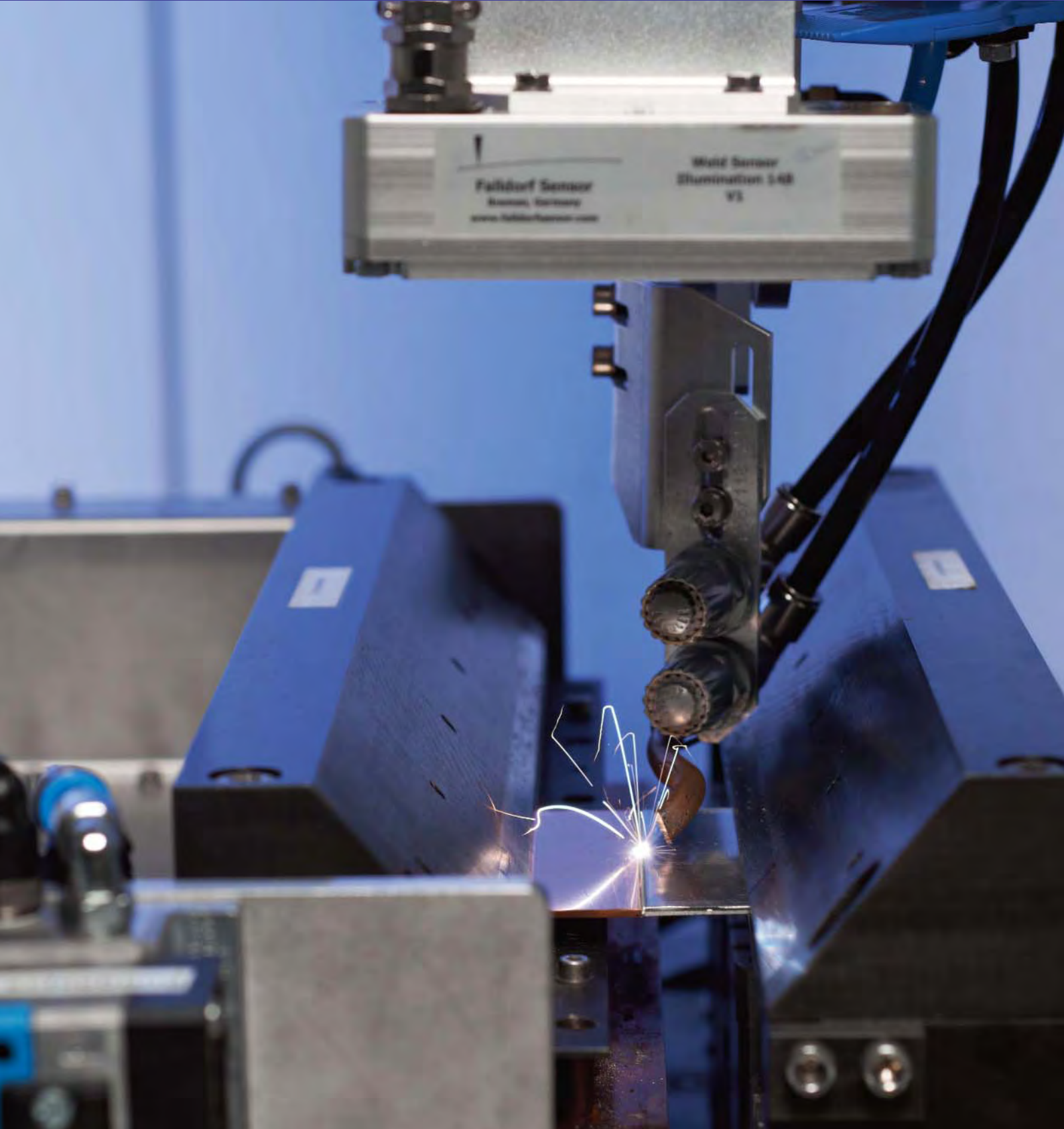
Zur Ansteuerung der Galvanometerscanner wurden spezielle Module entwickelt, welche erstmalig eine direkte Anbindung der Galvanometerscanner an einen Feldbus (EtherCAT) ermöglichen. Die digitale Übertragung der Positionsdaten in einem Ausgabetakts von $10 \mu\text{s}$ ermöglicht eine Steigerung der Performance und eine erhöhte Prozessstabilität. In Kombination mit dem weiterentwickelten Strahlablenkensystem des

- 1 Strahlablenkensystem
lasertronic® SAO
- 2 LMDR-Testsystem

KONTAKT

Dipl.-Ing. Peter Rauscher
Tel.: +49 351 83391-3012
peter.rauscher@iws.fraunhofer.de





Das Entscheidende am Wissen ist, dass man es beherzigt und anwendet.

Konfuzius



GESCHÄFTSFELD FÜGEN

Redaktion: Die Automobilindustrie durchlebt derzeit einen rasanten Paradigmenwechsel in den Antriebstechnologien. Wie sind Sie angesichts der Tatsache, dass Sie sich in diesem Geschäftsbereich bisher schwerpunktmäßig mit der Entwicklung von Schweißverfahren für den Bereich Powertrain im Pkw beschäftigt haben, auf diese Veränderungen eingestellt?

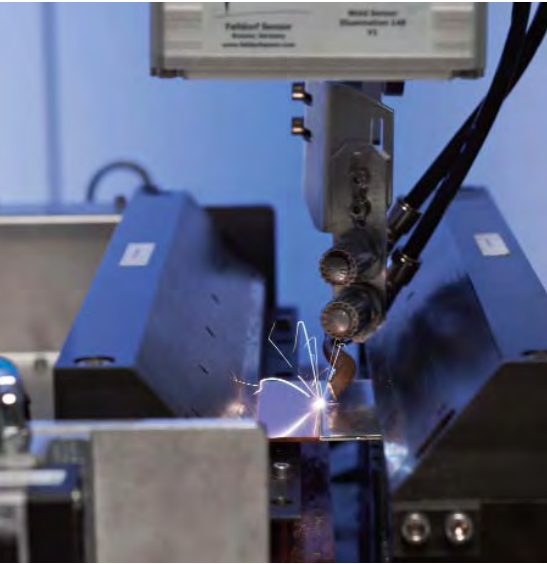
Prof. Brenner: Dieser Paradigmenwechsel ist in der Tat mit großen Herausforderungen für die Fügetechnik verbunden. Durch unseren breiten fügetechnischen FuE-Ansatz im Bereich Laserstrahlschweißen und der frühzeitigen Hinwendung zu neuen Fügetechnologien wie Kleben, Rührreibschweißen und elektromagnetischem Pulsfügen sind wir auf diese Herausforderungen recht gut vorbereitet. Beispielsweise entwickelten wir für die Realisierung hoch belastbarer, crashtsicherer und gleichzeitig preisgünstiger Karosseriestrukturen aus höchstfesten Mehrphasenstählen das Laserstrahlschweißen mit prozessintegriertem Anlassen weiter. Die damit mögliche homogenere Härteverteilung verbessert sowohl die Umformbarkeit während der Fertigung als auch die Energieaufnahme im Crash-Fall.

Für drei fügetechnische Herausforderungen bei der Fertigung von Lithium-Ionen-Batterien können wir heute Lösungen anbieten. Für das Verbinden der Al- bzw. Cu-Folien-Stapel untereinander und mit dem Ableiter bietet sich das Laserstrahlschweißen als effektive und prozesssichere Fügetechnologie an. Das zur hermetischen Abdichtung der Zellstapel notwendige Versiegeln der Ableiter mit dem Kunststoffgehäuse wird durch eine selektive Laservorbehandlung vor dem Kleben langzeitstabiler und preiswerter. Durch Laserinduktionswalzplattieren können Al-Cu-Zellverbinder mit hervorragenden mechanischen und elektrischen Eigenschaften hergestellt werden. Im Rahmen des durch das BMBF geförderten Projektes DeLIZ konnten wir einen völlig neuartigen Typ einer Laserinduktionswalzplattieranlage konzipieren, auslegen, aufbauen und in Betrieb nehmen. Mit dieser weltweit bisher

einmaligen Anlage können zukünftig sehr effizient flächige Verbindungen zwischen konventionell nicht schmelzschweißbaren Werkstoffkombinationen wie z. B. Cu/Al, Al/Ti, Stahl/Cu, Stahl/Bronze hergestellt werden. Für die Werkstoffkombination Cu/Al gelang es zwischenzeitlich, 22 mm breite Bimetallbänder mit sehr hohen Schälffestigkeiten in einem gleichzeitigen Füge- und Umformprozess und ohne aufwändige separate Wärmebehandlung herzustellen.

Redaktion: In diesem Jahr wurde auch der erste Versuchsträger für das Längsnahtschweißen von Flugzeugrumpfpanseln mit dem Rührreibschweißen gefertigt. Wie zufrieden sind Sie mit diesem Ergebnis?

Prof. Brenner: Nach den in den vergangenen Jahren durchgeführten Verfahrensentwicklungen zum Laserstrahlschweißen der Stringer-Haut-, der Clip-Haut- und der Haut-Haut-Anbindungen, stellt die Entwicklung des Rührreibschweißens für große, biegeschlaffe 3D-Bauteile die vierte Etappe zur Ablösung des Nietens in metallischen Primärstrukturen für den Passagierflugzeugbau dar. Im Vergleich zum Laserstrahlschweißen wirkt sich beim Rührreibschweißen das geringere Schweißnaht-Undermatching sowie die thermomechanische Verfestigung der Schweißzone und der Wärmeeinflusszone infolge der intensiven Verformung unterhalb der Schmelztemperatur positiv auf die zu erwartenden Eigenschaften aus. Seine besondere – auch fertigungstechnische Attraktivität – erlangt das Rührreibschweißen in Verbindung mit einem neuartigen Anlagenkonzept, einem Pentapod, der eine preisgünstige Prozessführung für große 3D-Bauteile gestattet. Im Rahmen der Untersuchungen wurden sehr erfolgreich 1:4 Versuchsträger für die Konzeptentwicklung zur Großkomponentenmontage von Rumpfsegmenten geschweißt, so dass wir mit den jetzt erreichten Ergebnissen sehr zufrieden sein können.



KOMPETENZEN

SCHWEISSEN SCHWER SCHWEISSBARER WERKSTOFFE

Das Laserstrahlschweißen ist ein modernes Schweißverfahren, das einen breitgefächerten industriellen Einsatz insbesondere in der Massenfertigung gefunden hat. Laserstrahlschweißverfahren mit integrierter Kurzzeitwärmebehandlung, mit werkstoffangepassten Zusatzwerkstoffen sowie hochfrequenter Strahlmanipulation ermöglichen einen neuen Zugang zur Herstellung rissfreier Schweißverbindungen aus härtbaren und hochfesten Stählen, Gusseisen, Al- und Sonderlegierungen, Heissriss anfälligen Legierungen sowie Bauteilen mit hoher Steifigkeit. Auf der Basis eines umfangreichen metallphysikalischen und anlagentechnischen Hintergrundwissens bieten wir Ihnen die Entwicklung von Schweißtechnologien, Prototypschweißungen, Verfahrens- und Anlagenoptimierung sowie die Ausarbeitung von Schweißanweisungen an.

OBERFLÄCHENVORBEHANDLUNG UND KONSTRUKTIVES KLEBEN

Um eine gute Benetzung und eine hohe Klebfestigkeit zu erreichen, werden die Fügeiteiloberflächen vor dem Kleben häufig vorbehandelt. Dafür werden am IWS vor allem Plasma- und Lasertechniken verwendet. Die Charakterisierung der vorbehandelten Oberflächen sowie der geklebten Verbunde erfolgt mittels Kontaktwinkel-, Rauheits- und Schichtdickenmessungen, Lichtmikroskopie, REM / EDX und spektroskopischer Methoden. Eine neue Zielrichtung besteht in der Integration von Carbon-Nanotubes in Klebstoffe, wodurch die Klebfestigkeiten erhöht oder / und elektrisch leitfähige Verbunde hergestellt werden können. Wir bieten Fügeflächenvorbehandlungen und Oberflächencharakterisierung, konstruktives Kleben verschiedenster Materialien, die Bestimmung der Klebfestigkeit und Alterungsuntersuchungen sowie Beratungsleistungen in allen klebtechnischen Fragestellungen an.

SONDERFÜGEVERFAHREN

Häufig lassen sich moderne Funktionswerkstoffe nur noch eingeschränkt mittels Standard-schmelzschweißverfahren fügen, bei Metallen betrifft dies beispielweise viele hochfeste Aluminiumlegierungen. Wird eine Verbindung verschiedener Metalle gewünscht, etwa Aluminium und Kupfer, verschärft sich das Problem noch: In der Regel entstehen aus der Schmelze stark festigkeitsmindernde, intermetallische Phasen. Am Fraunhofer IWS werden daher gezielt Fügeverfahren weiterentwickelt, die eine Schmelze vermeiden und so diese Probleme umgehen. Unser primärer Fokus liegt dabei auf den Verfahren Rührreibschweißen, Laserstrahllöten, Laserinduktionswalzfügen sowie dem elektromagnetischen Pulsfügen, für die wir Prozessentwicklungen, Prototypenschweißungen und systemtechnische Weiterentwicklungen anbieten.

ABTEILUNGSLEITER

PROF. BERNDT BRENNER

Telefon +49 351 83391-3207
berndt.brenner@iws.fraunhofer.de



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2011

1. Anwendung brillanter Laser für den strukturintegrierten Leichtbau	38
2. Rührreißschweißen von Flugzeugrumpf-Versuchsträgern	40
3. Flexible Prototypanlage zum induktiv unterstützten Laserwalzplattieren	42
4. Hochauflösende Charakterisierung der Fügegrenzflächen metallischer Mischverbindungen	44
5. CNT-haltige Klebstoffsysteme	46
6. Online-Spektroskopie zur Sicherung der Produktqualität	48
7. Innovatives Anlagenkonzept zum »on the fly« – Schweißen von »pillow plates«	50

GRUPPENLEITER SCHWEISSEN

DR. JENS STANDFUSS

Telefon +49 351 83391-3212
jens.standfuss@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITERIN KLEBEN

DR. IRENE JANSEN

Telefon +49 351 463-35210
irene.jansen@iws.fraunhofer.de



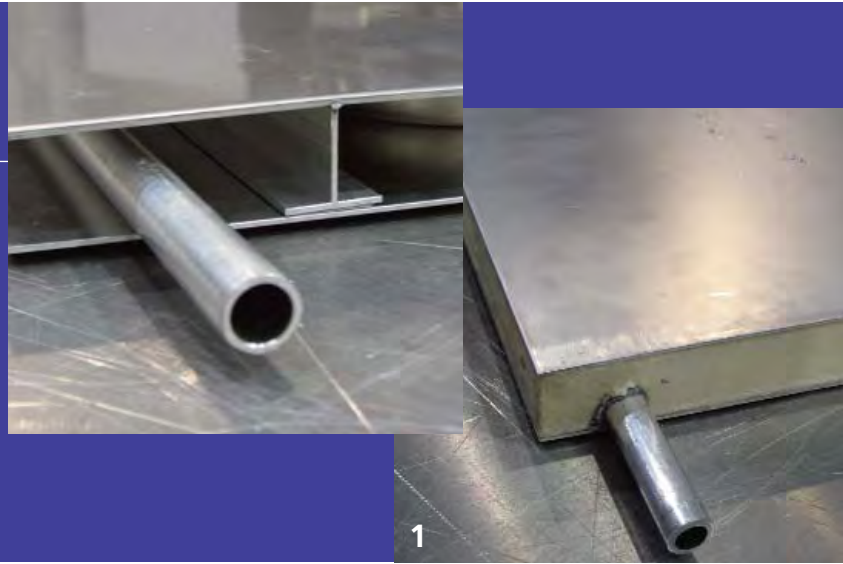
GRUPPENLEITER

SONDERFÜGEVERFAHREN

DR. GUNTHER GÖBEL

Telefon +49 351 83391-3211
gunther.goebel@iws.fraunhofer.de





ANWENDUNG BRILLANTER LASER FÜR DEN STRUKTURINTEGRIERTEN LEICHTBAU

DIE AUFGABE

Der Einsatz alternativer Antriebskonzepte im Bereich Elektromobilität erfordert auch neue Lösungsansätze im Hinblick auf Funktionsintegration und Leichtbau. Eine Möglichkeit hierzu stellt die Integration von Wärmetauschern, wie sie für die Temperierung elektrischer Speicher erforderlich sind, in die Fahrzeugstruktur dar.

Im Rahmen von Vorlaufforschungsprojekten wurden gemeinsam mit anderen Fraunhofer-Instituten (IVI, IFAM, LBF, IBP) Untersuchungen zur Herstellung von strukturintegrierten Wärmetauschern für Hybrid-Busse durchgeführt. Im Lastenheft für die Wärmetauscher wurde vereinbart, dass das zu konzipierende Wärmetauschermodul sowohl strukturelle und lasttragende Aufgaben wie auch thermische Funktionen übernehmen sollte. Im Einzelnen waren die folgenden Arbeitspunkte zu realisieren:

- Auswahl und Konstruktion strukturintegrierter Funktionselemente für flächig ausgeprägte Kühl- und Heizsysteme,
- Konzeption einer Demonstroeinheit, aufgebaut aus einem lackierfähigen Außenblech, einer Isolationsschicht

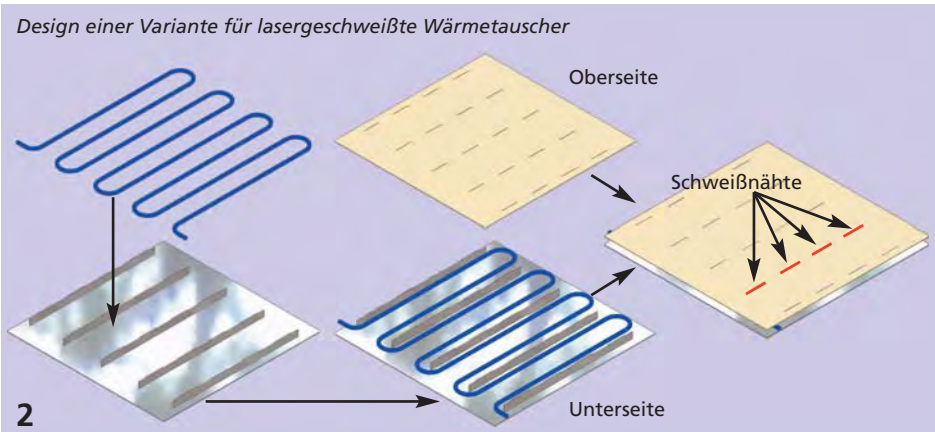
und einer Wärmetauschereinheit mit lackierfähigem Innenblech,

- Untersuchung laserbasierter Fertigungsverfahren für multifunktionale Heiz- und Kühlflächenenelemente und schweißtechnische Untersuchungen mittels Laserschweißen zur Überprüfung der Realisierbarkeit dieses Konzeptes.

UNSERE LÖSUNG

Beim strukturintegrierten Leichtbau sind an dünnwandigen Strukturen oftmals stoffschlüssig gefügte Versteifungen erforderlich. Hierzu bietet sich als Fügeverfahren das Laserstrahlschweißen mit brillanten Strahlquellen (z. B. DC-CO₂-Laser, Faser- oder Scheibenlaser) an. Die mit diesem Verfahren realisierte extrem niedrige Streckenenergie minimiert den Wärmeeintrag und damit den Bauteilverzug.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes »FSEM Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität« wurde ein multifunktionales Wärmetauschermodul entwickelt und gefertigt. Das Modul basiert auf einer doppelwandigen Al-Struktur mit lasergeschweißten Versteifungselementen sowie



einer lasergeschweißten, mäanderförmigen Rohrleitung (Abb. 1, 2). Das Aufschweißen der Längsstreifen erfolgte mit dem CO₂-Laser. Besonderheit hierbei ist, dass die Versteifungselemente mit zwei Lasern beidseitig gleichzeitig unter Zuführung von Zusatzdraht verschweißt wurden. Durch das parallele Verschweißen wird der bei einseitigem Schweißen nicht zu vermeidende Verzug komplett verhindert. Die Zugabe von Zusatzdraht (AlSi12) verhindert die bei der Werkstoffkombination (AlMgSi 0,5 an AlSi1MgMn) mögliche Heißrissbildung durch Überlegierung mit Silizium.

ERGEBNISSE

Neben der Prüfung der Struktursteifigkeit der lasergeschweißten Strukturen im Biegeversuch erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM Dresden die thermische Charakterisierung.

In Ergänzung zu den Untersuchungen zur Darstellung von strukturintegrierten Wärmetauschern erfolgten ebenso Laserschweißversuche an geklebten Verbundblechen. Derartige Bleche ermöglichen den Einsatz unterschiedlicher metallischer Werkstoffe und damit eine applikationsangepasste Werkstoffauswahl. Ein Beispiel ist ein Verbundblech aus 0,5 mm rostfreiem Edelstahl mit 2,0 mm dickem Aluminium, welche den unterschiedlichen Anforderungen wie:

- Korrosionsbeständigkeit und Sichtflächenqualität im Außenbereich (Edelstahl),
- Schalldämmung (Verbundblech) und
- Leichtbau über Aluminium bzw. GFK im Innenbereich in sehr guter Weise nachkommt. Diese unterschiedlichen Anforderungen und Eigenschaften sind zum Beispiel für

Außenwandstrukturen für Schienenfahrzeuge von Interesse. Für die Gewährleistung der Struktursteifigkeit müssen Versteifungselemente, in diesem Fall Al-Profile, mit der Al-Seite des Verbundbleches verbunden werden. Dies erfolgte durch das Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen und extrem niedriger Streckenenergie. Hierbei wird eine thermische Schädigung der geklebten Verbundbleche nahezu vollständig vermieden. Die Verbindung der GFK-Innenverkleidung an die Al-Versteifung erfolgt mittels Klebtechnik.

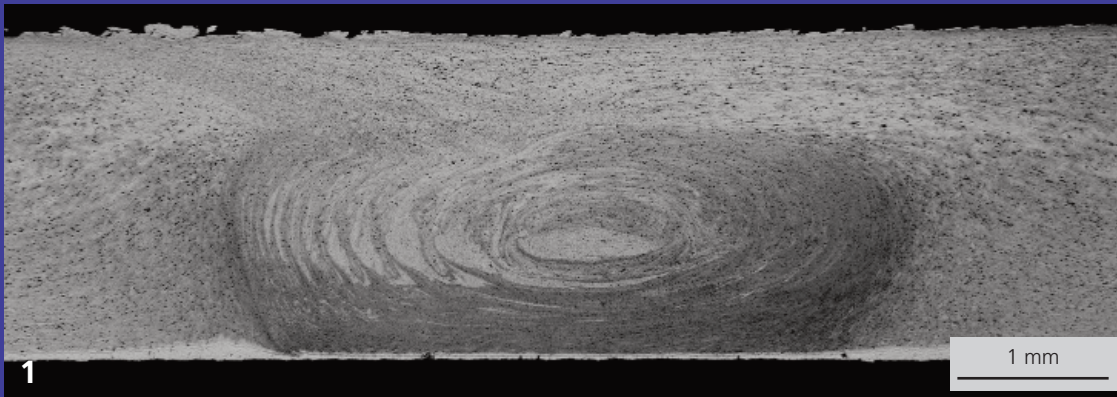
Die beschriebenen Ergebnisse wurden im Rahmen des vom BMBF (Förderkennzeichen 13N11426) geförderten Projektes »FSEM Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität« erarbeitet.

- 1 *Lasergeschweißter Wärmetauscher aus Aluminium links: vor Ausschäumen rechts: nach Ausschäumen*
- 3 *Variante für Außenwandstruktur in Mischbauweise: lasergeschweißte Al-Profilversteifung auf Edelstahl / Al-Verbundblech, GFK (verklebt) für Innenbereich*

KONTAKT

Dr. Jens Standfuß
 Telefon: +49 351 83391-3212
jens.standfuss@iws.fraunhofer.de





RÜHRREIBSCHWEISSEN VON FLUGZEUGRUMPF-VERSUCHSTRÄGERN

DIE AUFGABE

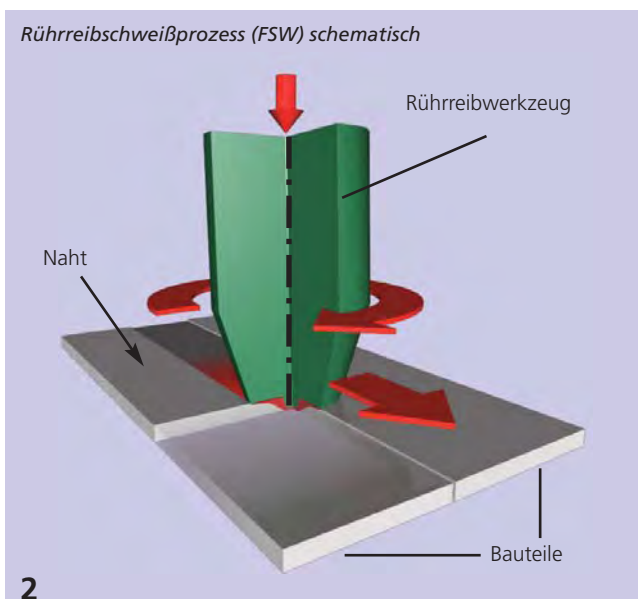
Je leichter, desto besser! Dieses Motto ist seit jeher ein treibender Faktor in der Luftfahrtindustrie. Am Fraunhofer IWS wird seit über zehn Jahren an Füge-technologien und industriellen Konzepten geforscht, wie Flugzeugrumpfe leichter, aber auch kostengünstiger und schneller gefertigt werden können. Prominenter Kunde ist dabei der Airbus-Konzern, für den das Institut seit 2001 an Konzepten zum Laserstrahlschweißen arbeitet. Ein fügetechnisch deutlich anderer Weg als die Nutzung von Laserstrahlung wird seit 2009 zusätzlich beschritten: Der Einsatz des noch wenig bekannten Rührreibschweißens (abgekürzt FSW), siehe Abbildung 2. Gegenüber den Schmelzschweißverfahren umgeht es einige Einschränkungen und kann bisher nicht schweißbare Legierungen fügen.

Diese Technologie ist für einige Nischenanwendungen im Luftfahrzeugbau bereits etabliert. Erfahrungen und Konzepte zur kostengünstigen industriellen Umsetzung bei hohen Stückzahlen fehlen jedoch. Auch ist das Fügen von großen, biegeschlaffen 3D-Bauteilen wie etwa Flugzeug-Rumpfsegmenten eine ungelöste Herausforderung.

UNSERE LÖSUNG

Hierzu wird vom IWS unter anderem an Maschinenkonzepten geforscht, die es überhaupt erst möglich machen, derart große Bauteile effizient zu fügen. Schließlich erfordert das neue Verfahren deutlich höhere Kräfte, die Flugzeugaußenhaut darf sich aber nicht unzulässig verformen. Seit 2009 ist das IWS Dresden daher im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms IV durch Airbus innerhalb des Technologieprojekts MERGE (Metallrumpf nächster Generation) beauftragt, industrielle Konzepte voranzubringen. Gefördert werden diese Arbeiten durch das Bundesministerium BMWi (Förderkennzeichen FKZ 20W0606A), das damit die Forschung und Entwicklung von Hochtechnologien in der zivilen Luftfahrt am Standort Deutschland unterstützt. Ein neuartiger Ansatz des IWS zur Entwicklung kosteneffizienter Fügekonzepte liegt bereit im eingesetzten Maschinenkonzept für die Fertigung der Versuchsträger: In Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller wurde eine parallelkinematische 3D-Fräsanlage zu einer vollwertigen Rührreibschweißanlage umgerüstet. Dieser sogenannte Pentapod kommt bei vergleichbarer Steifigkeit und Präzision mit nur etwa 10 % des Gewichts herkömmlicher kartesischer Bewegungsmaschinen aus. Dies bietet neue Freiheitsgrade bei Anlagenkonzepten für große Bauteile. Auch wurden angepasste Regelstrategien untersucht, um die Robustheit des Schweißprozesses für die industrielle

Rührreibschweißprozess (FSW) schematisch





Produktion biegeschlaffer Bauteile zu steigern. Damit diese Ideen möglichst bald den Weg in die Produktion finden, wurde die Airbus-Zulieferindustrie schon früh involviert. Ein Teil der geschweißten Versuchsträger stellte etwa die RUAG Aerospace Structures GmbH bereit. Die Versuchsträger entsprechen dabei nahezu der typischen Geometrie realer Rumpfsektionen, zunächst aber auf 1:4 verkleinert, wie es der Airbus-Prozess zur Ermittlung der Technologiereife vorgibt.

ERGEBNISSE

In Zusammenarbeit mit den Luftfahrtpartnern wurden am Fraunhofer IWS 2011 die ersten Flugzeugrumpf-Versuchsträger mit dem neuen Verfahren geschweißt. Abbildung 3 zeigt den Aufbau der Anlagentechnik, Abbildung 4 den fertigen zylindrischen Versuchsträger. Der Prozess läuft dabei vollständig geregelt ab: Die integrierte und auf sehr kurze Latenzen ausgelegte Kraftregelung stellt sicher, dass auch dann gleichmäßige Prozessbedingungen herrschen, wenn sich das Prozessfenster verschiebt. Dies ist etwa bei Verformungen der Spanntechnik unter Prozesslast möglich.

Zur Prüfung der Nahtqualität wurden unter anderem umfangreiche metallographische Analysen durchgeführt, ein Schlibbild der Schweißnaht ist in Abbildung 1 zu sehen.

Da die Ergebnisse sehr vielversprechend sind, soll nun in zukünftigen Projekten auf größere Bauteile übergegangen werden, im Maßstab 1:1. Das bildet eine präzisere Basis für die Weiterentwicklung geeigneter Schweißkonzepte und verbessert die Aussagekraft bei der Technologiebewertung, was für Kunden aus dem Flugzeugbau enorm wichtig ist. Die Vision, später einmal komplette Flugzeugsegmente mit dem Rührreischweißen effizient und schnell zusammenzufügen, ist damit einen Schritt näher gerückt.

- 1 Querschleiff FSW-Nahtgefuge, Werkstoff: Al 2024
- 3 »Pentapod« Parallelkinematik-Anlage zum 3D-Rührreischweißen (Arbeitsraum: 6,5 x 2 x 1,5 m³) mit geschweißtem Versuchsträger vor der Schweißanlage
- 4 Detail Längsnaht am Versuchsträger

KONTAKT

Dr. Gunther Göbel
 Telefon: +49 351 83391-3211
gunther.goebel@iws.fraunhofer.de





FLEXIBLE PROTOTYPANLAGE ZUM INDUKTIV UNTERSTÜTZTEN LASERWALZPLATTIEREN

DIE AUFGABE

Die gegenwärtigen Entwicklungstrends im Automotive-Bereich hinsichtlich Elektromobilität und Leichtbau auf der einen Seite und den stark gestiegenen Preisen für eine Reihe wichtiger Metalle auf der anderen Seite führen zu einer zunehmenden Nachfrage nach applikationsnahen metallischen Verbundhalbzeugen. Zum Beispiel ergeben sich durch die angestrebte Nutzung effektiver Verbindungstechnologien für Verbindungselemente im Rahmen der Realisierung von fertigungsgünstigen Lithium-Ionen-Batterien Forderungen nach geeigneten Al-Cu-Verbundhalbzeugen.

Zur Realisierung eines solchen Werkstoffverbundes wurde am Fraunhofer IWS im Rahmen von mehreren bilateralen Studien mit industriellen Partnern und unter Nutzung einer Laboranlage ein spezielles, auf Schmalband ausgelegtes Laser-Walzplattierverfahren entwickelt. Im Unterschied zu konventionellen Warmwalzplattierverfahren werden bei diesem Verfahren nur die Innenflächen der beiden vorkonfektionierten und in der Regel induktiv vorgewärmten Bänder mittels Laserstrahl auf die notwendigen Plattiertemperaturen gebracht und in einem Walzstich zusammengefügt. Diese Laboranlage war jedoch nur auf die Verarbeitung von Bändern mit einer festgelegten Bandgeometrie und geringe Bandlängen ausgelegt. Eine Weiterentwicklung des induktiv unterstützten Walzplattierens zu einem industriereifen Fertigungsverfahren machte eine Weiterentwicklung der Anlagentechnik notwendig.

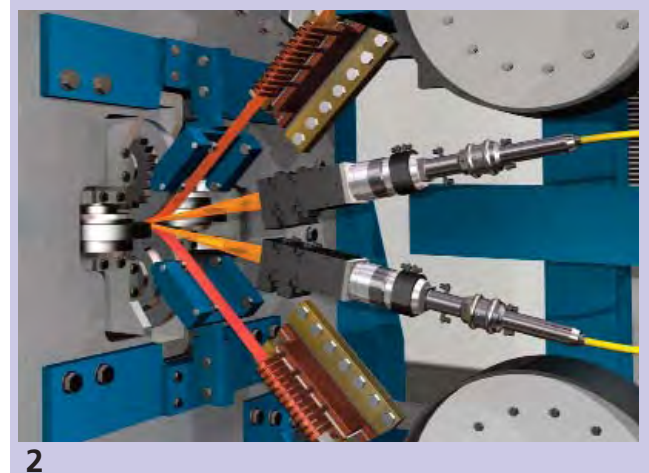
UNSERE LÖSUNG

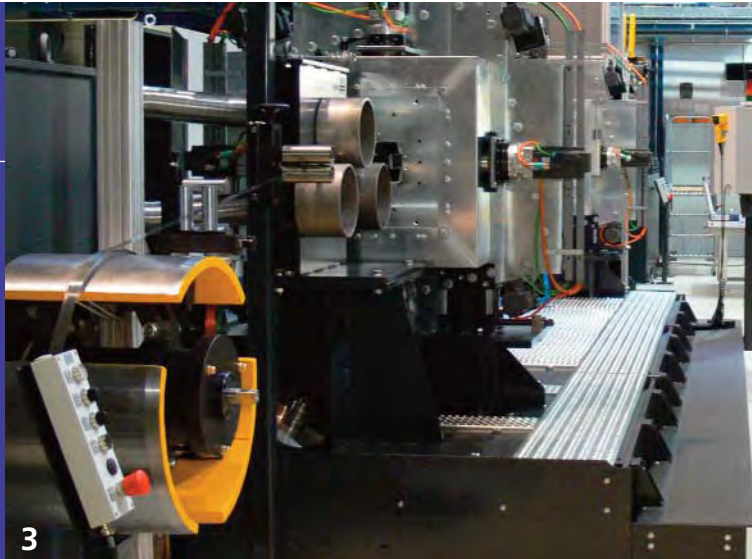
Am Fraunhofer IWS Dresden wurde die weltweit erste Anlage zum geometrieflexiblen induktiv unterstützten Laserwalzplattieren konzipiert und innerhalb eines sehr kurzen Zeitraumes durch einen Industriepartner konstruiert und aufgebaut. Anschließend wurde die Anlage mit dem Laser, den Induktionsgeneratoren und einer spezifischen Strahlformung komplettiert und verfahrenstechnisch erprobt.

ERGEBNISSE

Das Kernstück der Anlage ist ein Walzgerüst, das nach dem Prinzip eines sogenannten flexiblen Türkenkopfes arbeitet. Hierbei wird der erforderliche Walzspalt durch 4 zueinander versetzte Walzen gebildet. Ohne die Walzen wechseln zu müssen, lassen sich auf diese Weise verschiedene Spaltgeometrien realisieren. Unmittelbar vor dem Walzspalt erwärmen ein bzw. zwei zur Linie geformte Strahlen von Scheibenlasern die zu fügenden Bandinnenseiten.

Anordnung: induktive und Lasererwärmung der Bänder





Das Vorwärmen der Bänder erfolgt induktiv. Hierfür stehen zwei HF-Generatoren mit 50 bzw. 100 kW Leistung bereit. Die maximal verarbeitbare Bandbreite beträgt 150 mm bei einer Banddicke bis zu 4 mm. Die zu erreichende Plattierbreite ist abhängig von der eingesetzten Laserleistung. Zur Gesamtanlage gehören die notwendigen Abzug- und Aufwickelhaspeln, welche Bandcoils bis zu 1 t Gewicht aufnehmen können, Richtapparate und Bürsteinrichtungen. Weiterhin ist in die Anlage ein zweites Türkenkopf-Walzgerüst integriert, welches zur Kalibrierung bzw. Endformgebung der plattierten Halbzeuge dient. Beide Walzgerüste stehen auf einem gemeinsamen Maschinenständer, an welchem das über die gesamte Ständerlänge verschiebbare Panel der NC-Maschinensteuerung befestigt ist. Komplettiert wurde die Anlage mit einer angepassten Schutzgasschirmung der warmen Bandabschnitte und des Walzspaltes, einer Gaskühlung für das plattierte Band sowie mehreren Kameras und Pyrometern für die Prozessbeobachtung. Die neue Anlage hat eine Gesamtlänge von 18,5 m.

Die Konzeption der Anlage sieht vor, dass sowohl Plattierungen von Band auf Band als auch von Band auf Profil realisiert werden können. Durch die dem Laserwalzplattierprozess eigene sehr geringe Gesamtverformung werden zukünftig auch im Überlapp hergestellte und auf einen minimalen Werkstoffeinsatz optimierte Halbzeuge möglich.

Neben der bereits genannten Werkstoffpaarung eignet sich diese Technologie auch für das Herstellen von Verbundhalbzeugen zwischen verschiedenen Stählen sowie Stählen und Aluminium- bzw. Kupferlegierungen.

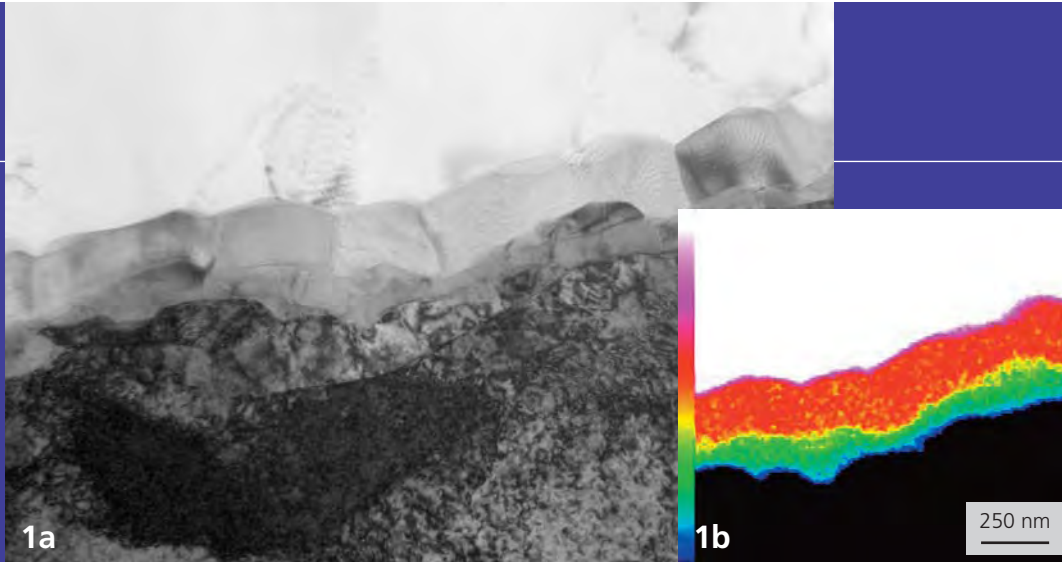
Die beschriebenen Ergebnisse wurden im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes DeLIZ (Förderkennzeichen 02PO2640; 02PK2641/2642) erarbeitet.

- 1 *Animation der Anlage*
- 3 *Walzplattieranlage im IWS*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Volker Fux
 Telefon: +49 351 83391-3243
 volker.fux@iws.fraunhofer.de





HOCHAUFLÖSENDE CHARAKTERISIERUNG DER FÜGEGRENZFLÄCHEN METALLISCHER MISCHVERBINDUNGEN

DIE AUFGABE

Der mit dem Begriff Multi-Material-Design verbundene Leitgedanke, den richtigen Werkstoff am richtigen Ort einzusetzen und damit eine konsequente Mischbauweise umzusetzen, stellt neue werkstoff- und verfahrenstechnische Anforderungen an die Fügetechnik. Zu den größten werkstofftechnischen Herausforderungen zählt die Vermeidung von spröden intermetallischen Phasen in der Fügezone, die zu einer beträchtlichen Eigenschaftsdegradation führt. Deshalb werden im Fraunhofer IWS Dresden mit dem Laserinduktionswalzplattieren, dem elektromagnetischen Pulsfügen und dem Rührreibschweißen parallel zum Laserstrahlschweißen sehr vielversprechende Technologien für die Realisierung von metallischen Mischbauweisen entwickelt.

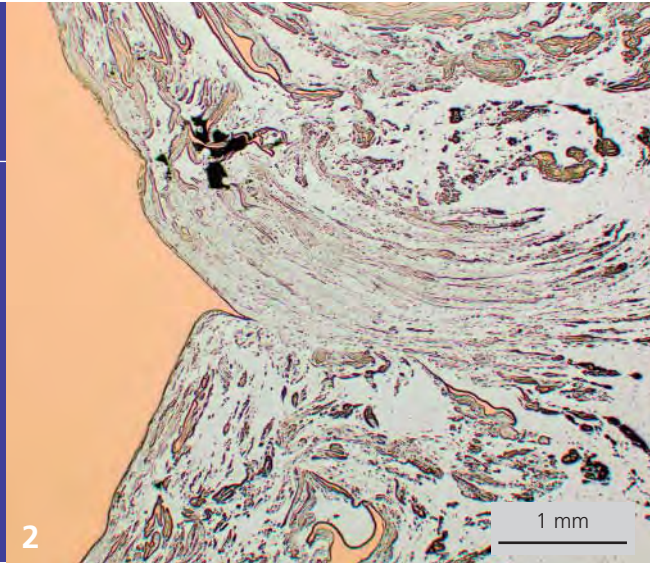
Ein erhebliches Hemmnis für die Entwicklung dieser neuen Fügetechnologien sind jedoch die großen Erkenntnislücken, die hinsichtlich der wirksamen Fügemechanismen bestehen. Die Überwindung dieser Defizite wird erschwert, weil die heterogenen Materialsysteme in den Fügezonen mit konventionellen metallographischen Präparationstechniken und Charakterisierungsmethoden nur unzureichend strukturanalytisch untersucht werden können. Ziel ist es daher, geeignete Präparationsverfahren und hochauflösende Charakterisierungsmethoden weiterzuentwickeln und anzuwenden, um die strukturellen Vorgänge in den Fügegrenzflächen umfassend aufzuklären.

UNSERE LÖSUNG

Im IWS Dresden werden zur umfassenden Charakterisierung der Fügezone metallischer Mischverbindungen Methoden der Metallographie, der Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie (REM, TEM) und der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse (EDX) eingesetzt, die sich gegenseitig ergänzen. Alle in der Elektronenmikroskopie zur Verfügung stehenden Abbildungsverfahren werden dabei ausgenutzt. Um den Anforderungen nach Kantenschärfe und weitgehender Freiheit von Präparationsartefakten nachzukommen, werden in vielen Fällen ionenstrahlgestützte Präparationstechniken eingesetzt. Für verschiedenste Materialkombinationen und Bauteile stehen Prozeduren für die zielgenaue Herstellung von Präparaten zur Verfügung.

ERGEBNISSE

Im IWS wurden metallische Mischverbindungen verschiedener Materialkombinationen (Al-Cu, Al-Stahl, Stahl-Cu) erfolgreich mittels Laserinduktionswalzplattieren, elektromagnetischem Pulsfügen und Rührreibschweißen erzeugt. Obwohl die bei den einzelnen Fügetechnologien vorherrschenden und zum Teil sehr unterschiedlichen Prozess- und Umgebungsbedingungen (z. B. Druck, Temperatur, Einwirkzeiten, Umformgrade) sich signifikant auf die strukturelle Ausbildung der Fügezone auswirken, bestehen zum Teil überraschende Analogien hinsichtlich der wirksamen Füge- und Verbindungsmechanismen. Am Beispiel der Mischverbindung Al-Cu sollen die gewonnenen Erkenntnisse im Folgenden dargestellt werden.



Selbst beim Einsatz von brillanten Lasern im kW-Bereich und sehr hohen Schweißgeschwindigkeiten lässt sich die Phasensaumdicke beim Laserstrahlschweißen nicht wesentlich unter $10\ \mu\text{m}$ absenken. Dies führt dazu, dass die Festigkeit der geschweißten Mischverbindung immer unterhalb der Festigkeit des Al-Grundmaterials liegt.

Im Gegensatz dazu kann mit den im IWS entwickelten Technologien des Laserinduktionswalzplattierens und des elektromagnetischen Pulsfügens die intermetallische Phasensaumdicke auf ein unkritisches Maß von deutlich weniger als $1\ \mu\text{m}$ reduziert werden (Abb. 1a u. 1b). In den mechanischen Tests kann dadurch der Versagensort von der Fügezone in das Al-Grundmaterial verschoben werden. Somit wird in der Fügezone mindestens die Festigkeit des schwächeren Partners erreicht.

Im Unterschied zu den anderen Fügeverfahren kommt es beim Rührreibschweißen zu einer deutlichen Durchmischung von Kupfer und Aluminium (Abb. 2). Begünstigt durch die relativ langen Einwirkzeiten lässt sich die intermetallische Phasenbildung nicht so effektiv unterdrücken wie beim Laserinduktionswalzplattieren oder elektromagnetischen Pulsfügen.

Die bisher durchgeführten Analysen führen zu der Hypothese, dass zur Realisierung von Al-Cu-Mischverbindungen mit einer hohen Verbindungsfestigkeit ein sehr dünner aber durchgehender Phasensaum förderlich ist. Dagegen kann allein durch mechanische Verklammerung, d.h. ohne das Vorhandensein einer Verbindungsschicht, bei den untersuchten Fügeverfahren keine ausreichende Haftfestigkeit zwischen Aluminium und Kupfer erreicht werden.

Die detaillierten strukturanalytischen Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass die Verbindungseigenschaften der Mischverbindungen auch durch thermisch und mechanisch induzierte Strukturänderungen, wie zum Beispiel Rekristallisation, Phasenumwandlungen, Verformungsverfestigung sowie Ausscheidungsaflösung bzw. -neubildung, in oder in der näheren Umgebung der Fügezone maßgeblich bestimmt werden.

Die Aufklärung dieser Struktur- / Eigenschaftsbeziehungen für unterschiedliche metallische Multimaterialsysteme ist Gegenstand laufender Untersuchungen. Mit diesen Arbeiten werden die Grundlagen zur Verfahrensoptimierung bei der industriellen Realisierung von Multimaterialsystemen im Automobil-, Schienenfahrzeug- und Flugzeugbau gelegt.

- 1 *TEM-Aufnahmen der Grenzfläche einer Al-Cu-Mischverbindung hergestellt durch Laser-Induktions-Walzplattieren (LIWP) zur Identifizierung des submikroskopischen Phasensaums*
 - a) *TEM-Hellfeldaufnahme*
 - b) *Al-Elementverteilung (EDX-Mapping)*
- 2 *Querschnitt durch eine rührreibgeschweißte Al-Cu-Stumpfnah (lichtmikroskopische Übersicht)*

KONTAKT

Dr. Jörg Kaspar
 Telefon: +49 351 83391-3216
joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de





CNT-HALTIGE KLEBSTOFFSYSTEME

DIE AUFGABE

Die Fügetechnologie Kleben als stoffschlüssiges Verfahren hat sich Schritt für Schritt in zahlreichen hochtechnologischen Industriezweigen etabliert. Neben der Kraftübertragung werden weitere Anforderungen, wie elektrische und thermische Leitfähigkeit sowie gute mechanische Eigenschaften an den Klebverbund gestellt. Diese gewünschten Effekte können durch Integration von nanoskaligen Füllstoffen in Klebstoffsysteme erzielt werden.

Eine vielversprechende Füllstoffgruppe stellen Carbon Nanotubes (CNT) dar. Diese sind durch ihre außergewöhnlichen Materialeigenschaften gekennzeichnet. Die elektrische Leitfähigkeit von CNT ist strukturabhängig und variiert zwischen leitend oder halbleitend. In industriellen Anwendungen werden elektrisch leitende Klebstoffe u. a. bei der flächigen Verbindung von Bauteilen eingesetzt, um die elektrostatische Ableitung von Ladungen zu gewährleisten. Des Weiteren ist die Anwendung von CNT in Elektrodenmaterialien für Aktoren in optischen Systemen oder im medizinischen Bereich vorstellbar.

CNT weisen bei einer sehr geringeren Dichte im Vergleich zu Stahl höhere Festigkeiten auf. Mechanisch optimierte Klebstoffe eignen sich vor allem für die Erzeugung hochfester Klebungen bei Multi-Materialanwendungen im Flugzeugbau. Aufgrund ihrer wärmeleitenden Eigenschaften ist weiterhin der Einsatz in Form wärmeableitender Klebstoffe in der Mikroelektronik als Überhitzungsschutz thermisch sensibler Bauteile möglich.

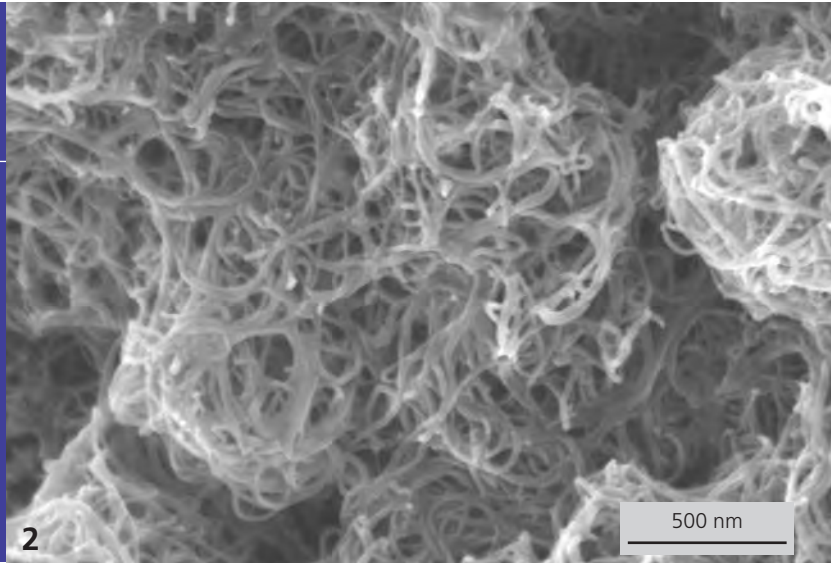
Das Interesse und Ziel der Arbeiten besteht darin, weitere Funktionen in die Klebstoffsysteme zu integrieren.

UNSERE LÖSUNG

Einen entscheidenden Einfluss auf die resultierenden Eigenschaften haben die Art und Anzahl der verwendeten CNT sowie die Qualität der Dispergierung.

Um ein Aufbrechen der CNT-Agglomerate und eine homogene Verteilung zu gewährleisten, wurden verschiedene Dispergiermethoden untersucht. Diese ermöglichen eine Verarbeitung vom Schmelzklebstoff (mittels Zweischnellenextruder) bis hin zu ein- oder mehrkomponentigen Klebstoffen (mittels Dreiwalzwerk, Hochdruckdispergator, SpeedMixer, Ultra-Turrax oder Ultraschallsonotrode). Die Wirkungsweise auf die Materialien sowie die CNT-Verteilung und deren Zerstörungsgrad variieren dabei von Methode zu Methode. Die modifizierten Klebstoffe werden bezüglich ihrer Eigenschaftsänderungen untersucht und charakterisiert.

Im Rahmen des Dresdner Innovationszentrums Energieeffizienz werden hochfeste, langzeitstabile und reproduzierbare Klebungen anhand energieeffizienter Klebflächenvorbehandlungen und einem mit CNT modifizierten Klebstoff entwickelt. Die gewünschten Eigenschaften können so individuell eingestellt und eine Multifunktionsschicht erzeugt werden. Als Matrix wurde ein zweikomponentiges additivarmes Epoxidharz auf Basis von Bisphenol A gewählt, das zugleich als Modellklebstoff für Vergleiche mit weiteren epoxidbasierenden Klebstoffen dienen soll.



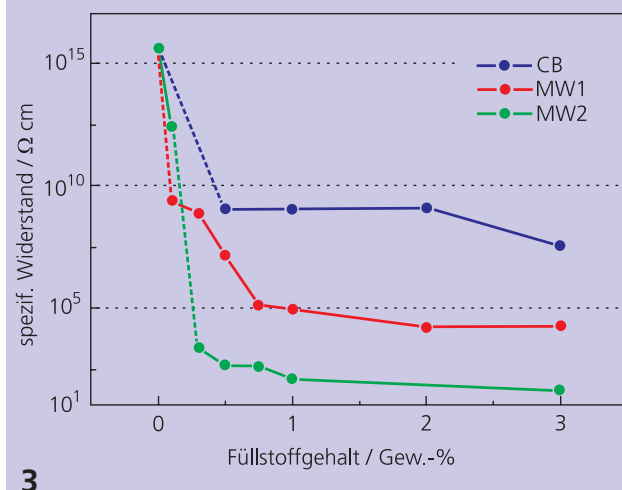
ERGEBNISSE

Im Bereich der elektrischen Eigenschaften konnte eine erhebliche Verringerung des spezifischen Widerstandes vom nicht gefüllten Epoxidharz mit $10^{15} \Omega \text{ cm}$ auf bis zu $8 \Omega \text{ cm}$ für das mit Multi-Walled-CNT (MW2) gefüllte Epoxidharz erzielt werden. Erste messbare Ströme (Perkolation) konnten bereits bei 0,01 Gew.-% detektiert werden. Im Vergleich dazu liegt die Perkulationsgrenze für Multi-Walled-CNT eines weiteren Herstellers (MW1) bei 0,3 Gew.-%. Für den mit Rußpartikeln (CB) gefüllten Klebstoff wurden weitaus höhere Widerstände ($10^8 \Omega \text{ cm}$ bei 3 Gew.-%) erhalten.

In Zugversuchen konnte eine Erhöhung der Dehnung für funktionalisierte Nanotubes nachgewiesen werden. Die Zugfestigkeit blieb dabei unverändert.

Für thermoplastische Klebstoffe konnte die Leitfähigkeit ebenfalls erheblich verbessert werden. Dabei nimmt die Elastizität des Schmelzklebstoffes mit zunehmendem CNT-Gehalt ab. Klebversuche resultierten in einer geringen Verbesserung der Zugscherfestigkeit mit zunehmenden CNT-Gehalt.

Abhängigkeit des spezifischen Volumenwiderstands vom Füllstoffgehalt und der Füllstoffart



- 1 Probekörper für unterschiedliche Prüfmethode
- 2 REM-Aufnahme von CNT

KONTAKT

Dipl.-Chem. Franziska Wehnert
 Telefon: +49 351 463-39151
franziska.wehnert@iws.fraunhofer.de





ONLINE-SPEKTROSKOPIE ZUR SICHERUNG DER PRODUKTQUALITÄT

DIE AUFGABE

Die anhaltenden Anstrengungen in der Produktion zur Sicherung gleichbleibend hoher Qualität und die Erfordernisse der Rückverfolgbarkeit sind Motivation der Forderung nach online integrierbaren Verfahren zur Qualitätssicherung. Im Bereich des automobilen Antriebstranges findet das Laserschweißen eine zunehmende Verbreitung. Neueste konstruktive Lösungen setzen auf die Kombination von artungleichen Materialien. Für das Laserstrahlschweißen wurden durch das Fraunhofer IWS Dresden bereits bewährte Technologien entwickelt. Diese setzen häufig einen Zusatzwerkstoff zur gezielten Beeinflussung der anforderungsgerechten Schweißnaht und zur Senkung der Fertigungskosten ein. Die sich aus der Qualitätssicherung ergebenden Forderungen nach Überwachung, Einhaltung und Dokumentation der Prozessparameter bildeten die Aufgabenstellung dieser Entwicklung.

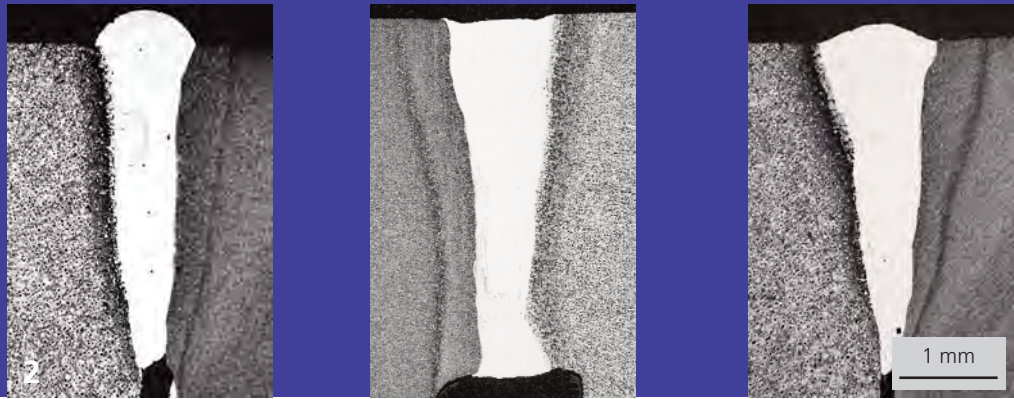
Das Verfahren des Laserstrahlschweißens mit Zusatzwerkstoff stellt höchste Anforderungen an die Einhaltung vorgegebener Prozessparameter. Durch diese werden metallurgische Verhältnisse in der Schweißnaht exakt eingestellt, so dass die geforderten Eigenschaften der Bauteilverbindung erreicht werden können. Die Bestimmung der Zusammensetzung der Gefügeausbildung und damit der Güte der Schweißnaht war bisher nur mit zerstörenden Prüfverfahren möglich. Da dies einen hohen Kosten- und Zeitaufwand bedeutet und keine 100 % Prüfung ermöglicht, wurde nach einem alternativen Verfahren gesucht, welches sich zudem in bestehende Fertigungsumgebungen integrieren lässt.

UNSERE LÖSUNG

Beim Laserstrahlschweißen wird durch die hohe Strahlintensität im Bereich des metaldampfgefüllten Keyholes ein prozesstypisches Plasma erzeugt, dessen Emissionen im Spektrum und zeitlichen Auftreten die Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Material charakterisieren. Mit einer temporär, lateral und spektral aufgelösten Messung dieser Sekundärstrahlung können online umfangreiche Informationen zum Prozess gewonnen werden. Die dabei betrachteten Wellenlängen liegen im UV- und VIS-Spektralbereich. Die Auswertung der Emission bietet die Möglichkeit, diskrete Wellenlängen zu betrachten, die Emissionslinien von relevanten Elementen zugeordnet werden können.

Die Bewertung der gemessenen Spektren erfolgt durch den Vergleich mit Referenzspektren. Diese werden im Vorfeld der Messungen aufgenommen, aufbereitet und im Messsystem hinterlegt. Die für jedes Bauteil aufgenommenen Spektren werden mit den Referenzen verglichen. Aus den Abweichungen lassen sich Rückschlüsse auf unterschiedlichste Prozessparameter ziehen, welche dokumentiert und gezielt beeinflusst werden können. Die Online-Spektroskopie bietet somit die Möglichkeit des Qualitätsnachweises und liefert das Werkzeug zur Prozessanpassung.

Durch gezieltes Einstellen verschiedener Prozesszustände lassen sich aus der Spektrenauswertung Modelle erstellen, aus denen sich die Stellgrößen für eine Prozessregelung ableiten lassen.



ERGEBNISSE

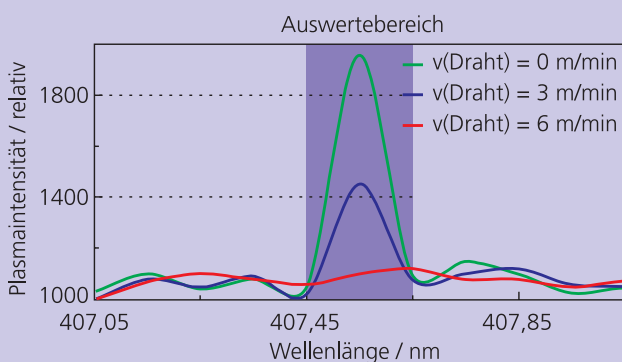
Die Nutzung der Online-Spektroskopie der Plasmaemission beim Laserstrahlschweißen macht die kontinuierliche Überwachung der Prozessführung und damit der Qualitätseigenschaften des gefügten Produktes möglich. Die hohe zeitliche Auflösung der Messung der Emissionsintensität erlaubt die lokale Zuordnung über den gesamten Schweißprozess und damit eine Aussage zur Veränderung von Prozessgrößen über den Verlauf der Schweißung.

Das durch das Fraunhofer IWS Dresden für den Laserfügeprozess qualifizierte Verfahren ermöglicht die Überwachung der für das Schweißen mit Zusatzwerkstoff typischen Prozessparameter Zusatzwerkstoffmenge und Position des Laserspots zur Fügestelle.

Bei Schweißungen von artungleichen Werkstoffen im Überlapp sind zudem die Durchschweißung und die Tiefe der Schweißnaht von großem Interesse. Diese können ebenfalls mittels Online-Plasmaspektroskopie detektiert werden.

Abhängigkeit der Intensität der Emission von der zugeführten Menge an Zusatzwerkstoff beim Laserstrahlschweißen

Schweißung eines Differentialbauteils (6 kW CO₂-Laser)



3

Das Fraunhofer IWS verfügt über mehrjährige Erfahrungen mit Online-Spektroskopie-Systemen zur Überwachung der Schweißqualität im industriellen Einsatz. Die Systemtechnik unterliegt einer ständigen Weiterentwicklung und Anpassung an die Bedürfnisse der Anwender. Die aktuelle Entwicklungsstufe des Systems verfügt über ein neues Spektrometer-Modul mit verbesserter spektraler Auflösung. Der erweiterte Messbereich reduziert die Spektrometermodule von zwei auf eins. Der Messbereich kann damit feiner aufgelöst werden, was den Informationsgehalt erhöht. Die im Rahmen der Weiterentwicklung getroffenen Maßnahmen führten zudem zu einer gesteigerten Messsicherheit und Validität der Ergebnisse.

- 1 *Typische Bauteile mit Mischverbindungen aus dem Getriebebau*
- 2 *Querschliffe von Schweißnähten aus Mischverbindungen (Getriebebauteile)*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Frank Kretzschmar

Tel.: +49 351 83391-3231

frank.kretzschmar@iws.fraunhofer.de





INNOVATIVES ANLAGENKONZEPT ZUM »ON-THE-FLY« - SCHWEISSEN VON »PILLOW PLATES«

DIE AUFGABE

Im sorgsamem Umgang mit der Energieform Wärme kommt Wärmetauschern eine wachsende Bedeutung zu. Die unendliche Designfreiheit, die guten Übertragungseigenschaften und die überschaubare Anzahl an Fertigungsschritten beschert den Plattenwärmetauschern einen wachsenden Absatzmarkt. Der Herstellungsprozess des Überlappschweißens zweier Edelstahlplatten und das anschließende Hydroumformen, welche dem Produkt ein kissenähnliches Aussehen und den Namen »Pillow-plates« gibt (Abb. 2), klingt relativ einfach, stellt Maschinenbauer jedoch vor enorme technologische Herausforderungen. Die immense Anzahl an Schweißungen führt zu thermischen Spannungen, welche durch eine entsprechende Spannvorrichtung aufgenommen werden müssen. Konventionelle Anlagenkonzepte verfügen über hydraulische Spannvorrichtungen und einen zweidimensional bewegten Laserschweißkopf. Jede Schweißnaht erfordert entsprechende Zustellvorgänge und wirkt sich deutlich auf die Produktionszeit aus. Weiterhin begrenzt die Anlagendynamik auf Grund der komplexen Nahtgeometrien die maximalen realisierbaren Schweißgeschwindigkeiten.

Auf Basis der bereits durch das Fraunhofer IWS entwickelten contiLAS-Technologie zum Remote-Schneiden von kontinuierlich bewegtem Material sollte ein entsprechendes, auf das Schweißen angepasstes Steuerungskonzept entwickelt werden. Dabei galt es, das Remote-Schweißen in Achsüberlagerung zu realisieren und die dafür erforderlichen Software-Bausteine bereitzustellen. Die Arbeiten standen unter den Randbedingungen höchster Flexibilität und einfacher Bedienbarkeit bis hin zu Losgröße eins.

UNSERE LÖSUNG

Experimentelle Untersuchungen am Fraunhofer IWS zum Remote-Schweißen führten zu ersten Plattenwärmetauscherprototypen. Scannertechnologie mit »on-the-fly« Achskopplung ist der Grund für die gesteigerte Dynamik, die bei angepasster Laserleistung zu einer Steigerung der Schweißgeschwindigkeit und einer Reduzierung der Zustellzeiten auf nahezu null führt. Damit verbunden ist zudem eine deutliche Reduzierung des Wärmeeintrages und somit des thermischen Verzuges des Halbzeuges. Die Prototypen überzeugten sowohl bei der Hydroumformung als auch beim Bersttest.

Den positiven Testergebnissen folgte die steuerungsseitige Technologieumsetzung für die Nutzung in Serienanlagen. Das gemeinsam mit der Firma Held Systems Deutschland GmbH entwickelte Gesamtanlagenkonzept (Abb. 1) sieht ein segmentiertes pneumatisches Spannen und Schweißen mit zyklischem Nachtakten vor. Während des Prozesses bewegt sich der Scanner zeitoptimiert über das zu schweißende Segment und verrechnet in Echtzeit dessen Bewegung bezüglich des Bauteils. Entsprechend der aktuellen Schweißposition wird das Schutzgas elementweise zugeschaltet. Das segmentierte Schweißen erfordert für Umfangsnähte eine Aufteilung mit speziell gestalteten Überlappbereichen. Plattenwärmetauscher können bis zu 800 Schweißkonturen pro m² aufweisen. Der damit verbundene Programmieraufwand erfordert zwingend eine CAM-Software. Resultierend aus Technologie- und Steuerungs-Know-how wurde am IWS das Programmiersystem CAS.optWELD entwickelt. Die im DXF-Format übergebenen Schweißgeometrien werden nach Auswahl und Festlegung der technologischen Parameter in ein Bearbeitungsprogramm



übertragen. Bereits beim Import unterscheidet die Software automatisch zwischen Werkstück und Schweißkontur. Aus einer Datenbank kann die für die Blechpaarung optimale Segmentbreite und Überlappung übernommen werden.

Weiterhin sind so auch die optimalen Bearbeitungsparameter (Schweißgeschwindigkeit, Laserleistung und Schutzgasmenge) bekannt. Für die einzelnen Konturgruppen kann der Überlappbereich definiert werden. Auch hier steht wieder eine Datenbank mit einer Vielzahl von Varianten zur Verfügung. Die Technologietabellen können vom Nutzer angepasst und erweitert werden. Die Software bietet neben einer Vielzahl automatisierter Abläufe jederzeit die Möglichkeit des manuellen Eingriffs, was insbesondere beim Einfahren neuer Produkte hilfreich ist.

Über die Kalkulationsoption erfolgt eine optimierte Berechnung des Schweißablaufs. Hierbei wird für Überlappungen außerhalb der Schweißkonturen der Umformbereich berücksichtigt. Nach wenigen Sekunden sind Scanner-, Laser- und Maschinenprogramm erzeugt. Die Anlagensteuerungsdateien werden als Paket an die Maschinensteuerung übertragen und in einer Datenbank abgelegt. Der Operator hat in der Anlagensteuerung den Zugriff auf die verschiedenen Bauteilprogramme und kann diese dem Produktionsablauf angepasst abrufen.

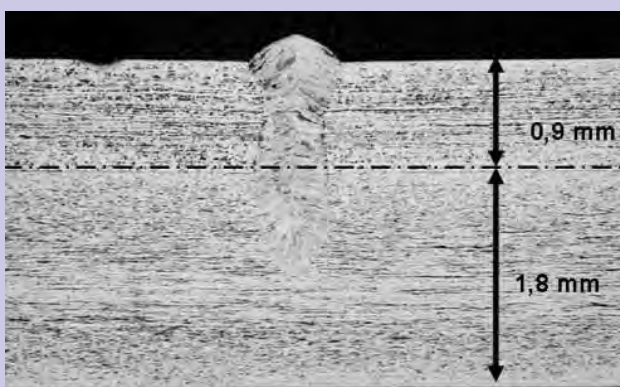
Der Programmerstellungsprozess kann sowohl an der Maschine direkt als auch in der Arbeitsvorbereitung unabhängig von der Anlage erfolgen.

ERGEBNISSE

Die konsequente Umsetzung des Achsüberlagerungs-Know-hows führte zur gemeinsamen Entwicklung einer hochproduktiven Fertigungsanlage. Die Steigerung der Schweißgeschwindigkeit, Zustellgeschwindigkeiten von typisch 12 m s^{-1} und eine schnelle pneumatische Spannvorrichtung sind Basis der gesteigerten Leistungsfähigkeit. Das am IWS entwickelte Programmiersystem CAS.optWELD schafft die Flexibilität, individuell und schnell auf Kundenanforderungen zu reagieren und Fertigungsabläufe auftragsbezogen zu gestalten.

Die entwickelte contiWELD-Technologie bietet weiterhin die Möglichkeit des »ästhetischen« Schweißens, was eine sichere Anbindung ohne sichtbare Durchschweißung bedeutet und insbesondere im Lebensmittelbereich Anwendung findet (Abb. 3). Die Resonanz des Nutzers der ersten industriellen contiWELD-Anlage ist absolut positiv. Weitere Anlagenüberführungen sind in Arbeit.

Einschweißung von Edelstahl 1.4301
0,9 mm auf 1,8 mm



- 1 Laseranlagenkonzept
contiWELD-Technologie
- 2 Plattenwärmetauscher
remote-lasergeschweißt
(nach Hydroumformung)

KONTAKT

Dipl.-Ing. Patrick Herwig
Tel.: +49 351 83391-3199
patrick.herwig@iws.fraunhofer.de





Die ungelösten Probleme halten einen Geist lebendig und nicht die gelösten.
Erwin Guido Kobenheyer



GESCHÄFTSFELD RANDSCHICHTTECHNIK

Redaktion: In den letzten Jahren wurden für das Laserstrahlhärten verschiedene systemtechnische Komponenten zur besseren industriellen Prozessbeherrschung und zur Qualitätssicherung entwickelt. Welche Entwicklungen haben Sie zukünftig im Auge?

Prof. Brenner: Angeregt durch Marktanforderungen beschleunigten wir unsere Entwicklungsanstrengungen zu einem Zeitpunkt, an dem die verfahrenstechnischen Grundprinzipien geklärt waren und mit den fasergekoppelten Hochleistungsdiodenlasern auch geeignete und effiziente Strahlquellen zur Verfügung standen.

Jetzt können wir konstatieren, dass alle systemtechnischen Voraussetzungen zum effizienten und prozesssicheren Laserstrahlhärten in industriellen Umgebungen geschaffen sind und sich im industriellen Einsatz bewähren, wie z. B. zur Bewegungstechnik (Roboterintegration), zur beanspruchungs- und bauteilangepassten Strahlformung (flexibles Strahlformungssystem LASSY mit integrierter Temperaturmessung) und zum Erreichen optimaler Prozessergebnisse und zur Qualitätssicherung (Temperaturmesssysteme E-MAqS, E-FAqS, Temperaturregelsystem LompocPro). Damit haben wir uns die Freiräume und das Know-how erarbeitet, auch andere Einsatzgebiete für die Systemkomponenten zu erschließen.

Redaktion: An welche Einsatzgebiete denken Sie?

Prof. Brenner: Es zeichnen sich mehrere Einsatzgebiete ab, z. B. die Temperaturregelung von lokalen Flüssigphasenprozessen für das Laserauftragschweißen, das Lötens und hier insbesondere das Laserstrahllöten, das Wärmeleitungsschweißen oder Kurzzeitwärmebehandlungsprozesse wie das Induktionshärten oder das Laserstrahl-Anlassen.

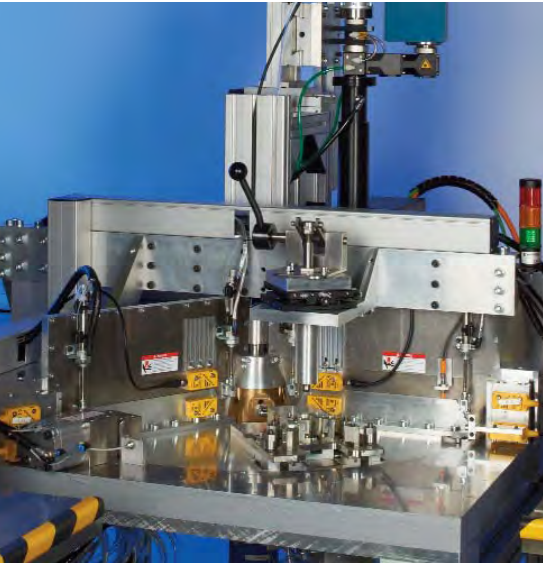
Wir freuen uns deshalb, dass es gelungen ist, ein Regelkonzept zu entwickeln, das geeignet ist, das Laserauftragschweißen viel reproduzierbarer ablaufen zu lassen.

Nach Analyse des Einflusses von Laserleistung, Fleckgröße, Leistungsdichteverteilung, Pulvermassenstrom, Vorschubgeschwindigkeit u. a. Parameter auf das Aufschmelzverhalten des Substrates, wurde ein Regelkonzept entwickelt, das es gestattet, aus der leicht messbaren Schmelzbadgröße online auf die Substrataufschmelzung zu schließen.

So gelang es, eine robuste Prozessregelung für das Laserauftragschweißen zu entwickeln und im letzten Jahr bei 6 industriellen Kunden im Ausland in die industrielle Anwendung zu überführen.

Redaktion: Im letzten Jahr berichteten Sie über eine neue Laserstrahlleinheit mit Drehspiegeloptik für die temperaturgeführte Laserstrahlhärtung der Innenseiten von Halbkugelflächen. Was ist daraus geworden?

Prof. Brenner: Im Auftrag eines Industriekunden konnten wir die Dauerstandsfestigkeit der entwickelten Drehspiegeloptik erreichen und nachweisen. Auf Grundlage dieser positiven Erprobungsergebnisse konstruierten und erprobten wir eine Schalttelleranlage mit integrierter Drehspiegeloptik. Mit Hilfe dieser Anordnung kann die Taktzeit noch einmal auf ca. 60 % gesenkt werden. Damit sind die Voraussetzungen für die industrielle Umsetzung dieses interessanten Strahlformungskonzeptes geschaffen worden.



KOMPETENZEN

TECHNOLOGIEN ZUM BEANSPRUCHUNGSGERECHTEN HÄRTEN VON STÄHLEN MITTELS LASER UND INDUKTION

Bei Bauteilgeometrien, Verschleißfällen und Werkstoffen, bei denen konventionelle Härte-technologien versagen, bietet das Laserhärten vielfach neue Lösungsansätze zur Erzeugung verschleißfester Oberflächen. Das trifft insbesondere zu auf die selektive Härtung von Bauteilen mit mehrdimensional gekrümmten, innenliegenden oder schwer zugänglichen Flächen, Bohrungen oder Kerben sowie auf stark verzugsgefährdete Bauteile. Gestützt auf langjährige, umfangreiche Erfahrungen und fachübergreifendes Know-how von der Analyse des Verschleißfalles, dem Werkstoffverhalten bei Einwirkung kurzzeitiger Temperaturfelder bis zur optimalen technologischen Realisierung von Härteaufgaben bieten wir an:

- Entwicklung von Randschichthärtetechnologien mit Hochleistungs-Diodenlasern, CO₂-Lasern, Nd:YAG-Lasern oder Induktion bzw. beidem,
- Randschichtveredelung von Entwicklungs- und Prototypmustern.

KOMPLEXE WERKSTOFF- UND BAUTEILCHARAKTERISIERUNG

Die Beherrschung moderner Füge- und Randschichtverfahren erfordert Kenntnisse von den ablaufenden strukturellen Änderungen bis zu den resultierenden Bauteileigenschaften. Auf der Basis langjähriger Erfahrungen und einer modernen Geräteausstattung für die strukturelle, mikroanalytische und mechanische Werkstoffcharakterisierung bieten wir an:

- metallographische, elektronenmikroskopische (REM, TEM) und mikroanalytische (EDX) Charakterisierung der Realstruktur von Metallen, Keramiken und Werkstoffverbunden,
- Ermittlung von Werkstoffkennwerten für die Bauteilauslegung und Qualitätssicherung,
- Eigenschaftsbewertung von randschichtbehandelten und geschweißten Bauteilen,
- Strategien zur werkstoff- und beanspruchungsgerechten Bauteilgestaltung,
- Aufklärung von Schadensfällen.

ABTEILUNGSLEITER

PROF. BERNDT BRENNER

Telefon +49 351 83391-3207
berndt.brenner@iws.fraunhofer.de



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2011

1. Softwareentwicklung als flexibles Werkzeug für die Randschichthärtung 56
2. Rotationssymmetrische Funktionsflächen effektiv Laserstrahlhärten 58

GRUPPENLEITER

RANDSCHICHTVERFAHREN

DR. STEFFEN BONSS

Telefon +49 351 83391-3201
steffen.bonss@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG

DR. JÖRG KASPAR (kommissarisch)

Telefon +49 351 83391-3216
joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de





SOFTWAREENTWICKLUNG ALS FLEXIBLES WERKZEUG FÜR DIE RANDSCHICHTHÄRTUNG

DIE AUFGABE

Der Trend zunehmender Funktionsintegration in Maschinenbauteile führt in der Industrie nicht nur zur Erschließung neuer Einsatzgebiete für das Laserstrahlhärten, sondern überführt das Laserstrahlhärten zu einem etablierten und akzeptierten Standardverfahren. Dies zieht eine Weiterentwicklung und Anpassung bereits verfügbarer Systeme und Komponenten nach sich. Speziell um Prozesse besser zu analysieren und überwachen zu können, wie beispielsweise das Härten von Ventilsitzen oder das Löten von Solarzellen, ist es wichtig, auch im Softwarebereich den neuesten Trends und vorteilhaften Entwurfsmustern zu folgen und diese schnell zu integrieren, um höchstmögliche Flexibilität zu garantieren. Dabei ist es besonders bei Software-Applikationen wichtig, über anpassungsfähige Hardware-Schnittstellen zu verfügen, damit kurzfristig aktuelle, für die jeweiligen Prozesse vorteilhaft einsetzbare Hardware-Komponenten eingebunden werden können.

UNSERE LÖSUNG

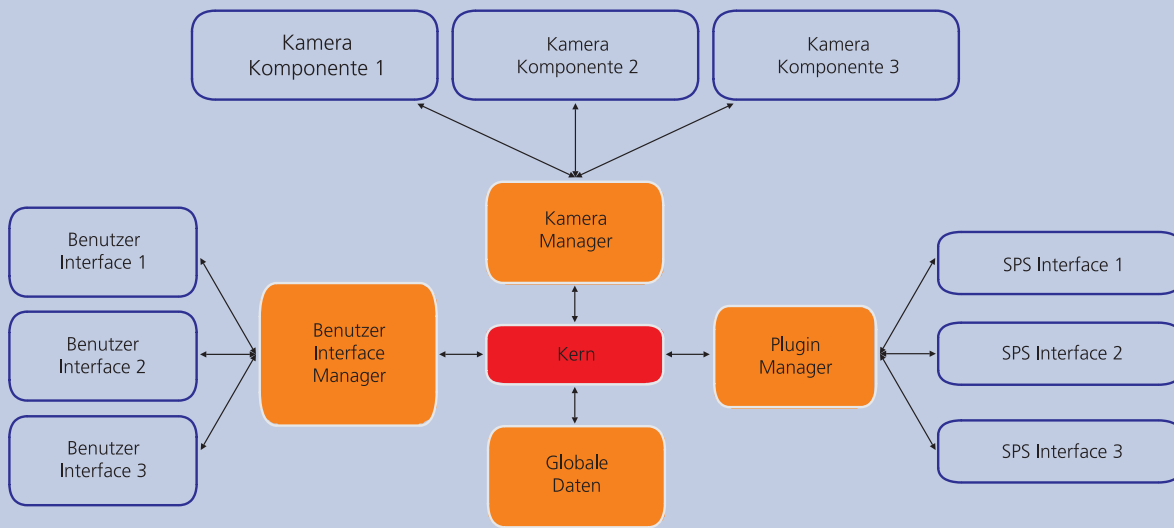
Software

Der bereits im industriellen Einsatz mehrfach integrierte Prozessregler »LompocPro« und die Steuersoftware für das dynamische Strahlformungssystem »LASSY« sind unter Beibehaltung bewährter Funktionalität komplett neu konzipiert und erstellt worden. Insbesondere erfolgte eine Funktionserweiterung zur besseren Skalierbarkeit, zu höherem Datendurchsatz und ausgeprägter Modularisierung. So besteht das Programm nicht mehr aus einem einzelnen monolithischen Block, sondern wird funktionell in entsprechende Module zerlegt, die über Schnittstellen dynamisch während der Laufzeit die Kernkomponente nach Bedarf erweitern (Abb. 2).

Diese Funktionsverteilung auf eigenständige, separate Module ermöglicht es, diese in weiteren Software-Produkten wiederzuverwenden. Unter diesem Gesichtspunkt wurde der industrielle Trend, den Datenverkehr auf schnelle Bussysteme umzustellen, aufgegriffen und in einheitliche SPS-Module implementiert. Dadurch ist es möglich, die Produkte maschinennäher und flexibler in vorhandene Anlagensteuerungen zu integrieren. Nicht nur die interne Zerlegung nach Funktionseinheiten spielte eine wichtige Rolle bei der Konzeption der Applikationen, sondern auch die Organisation und Verarbeitung der auflaufenden Datenmengen. So liefern beispielsweise moderne Industriekameras bei einer Auflösung von 120 x 112 Pixel über 600 Bilder pro Sekunde und erzeugen damit ein enormes Datenaufkommen. Um den hohen Bildfrequenzen aber auch großen Bildauflösungen gerecht zu werden, musste ein Teil des Kerns der Prozessregelung »LompocPro« entsprechend so konzipiert werden, dass keine Beeinflussung der eigentlichen Regelung stattfindet, die einen fehlerhaften Fertigungsprozess zur Folge hätte.

Hardware

Der ebenfalls modular gehaltene Kamera-Manager ermöglicht es, jeweils für den Bearbeitungsprozess optimal geeignete Kameras über eine einheitliche Software-Schnittstelle anzusprechen. Dieser zunächst zu leistende Mehraufwand erweist sich dann als besonders hilfreich, wenn innerhalb der Kameraproduktpalette verschiedene Modelle nach ihren jeweiligen Parametern wie z. B. Wellenlängenbereich, Bildfassungsrates, Bildauflösung und Bittiefe ausgewählt werden können, ohne die zugreifende Prozessregelung anpassen zu müssen. Selbst komplexere InGaAs-Kameras (Indium - Gallium - Arsenid), die im Short Wave Infrared Bereich arbeiten, stehen neben den üblicherweise verwendeten CCD-Kameras durch dieses Konzept für aktuelle Anwendungen und Weiterentwicklungen zur Verfügung.



ERGEBNISSE

Es entstand eine neue Systemgeneration für die Prozessregelung »LompocPro« und die Steuersoftware für die dynamische Strahlformung »LASSY«, die den neuen Herausforderungen industrieller Anwendungen bezüglich Flexibilität und Modularität gewachsen sind.

Die zum Laserstrahlhärten verwendete Software »LompocPro« ist zum Beispiel durch Ausstattung mit einer neuen Kamerabibliothek offen für den Einsatz eines breiteren Spektrums verwendbarer kamerabasierter Temperaturerfassungssysteme. Weiterhin ist es möglich, anstelle eines Messkanals mehrere Messkanäle zeitgleich mit unterschiedlichen Abtastraten oder reagierend auf Wertänderungen aufzunehmen und die Daten in einem weiterverarbeitbaren Format abzuspeichern.

Die Besonderheit des Systems »LASSY« liegt in der dynamischen Erzeugung von Schwingfunktionen, die über einen in den Strahlengang eingebrachten Schwingspiegel eine Aufspreizung des Laserstrahls und dadurch eine Anpassung der Strahlbreite an die notwendige Härtezonengeometrie bewirkt. Es ist möglich, unterschiedliche Schwingfunktionen mit Frequenzen von 100 Hz bis zu einem 1 kHz für ein Ausgangssignal von ± 10 V so zu generieren, dass eine lokale Anpassung der Intensitätsverteilung des Laserstrahls möglich ist. Dies ist sogar während eines Laserbearbeitungsprozesses unterbrechungsfrei möglich. Die tatsächlich vom Schwingspiegel ausgeführte Schwingung wird von der neuen Software in Echtzeit rückübertragen und kann visualisiert sowie für Analysen verwendet werden.

Die den neu entwickelten Softwaresystemen zu Grunde liegende Ein-Ausgabe-Hardware verfügt über Komponenten mit hoher Leistungsfähigkeit sowie über eine breite Auswahl an industriell üblichen Bus-Schnittstellen. Dadurch ist die flexible Anpassung durch Kunden vorgegebene Maschinensysteme gewährleistet.

- 1 *Integration von »LompocPro« und »LASSY«*
- 2 *Schematische Darstellung der Kernkomponenten moderner Regelungssysteme*

KONTAKT

Dipl.-Inf. Dirk Pögen
 Telefon: +49 351 83391-3071
dirk.poegen@iws.fraunhofer.de



ROTATIONSSYMMETRISCHE FUNKTIONSFLÄCHEN EFFEKTIV LASERSTRAHLHÄRTEN

DIE AUFGABE

Das Laserstrahlhärten mit Hochleistungsdiodenlasern hat sich in den letzten 10 Jahren in der Industrie als Randschichthärteverfahren etabliert. Vorteile des Verfahrens, wie die gute Lokalisierbarkeit der Härtezonen, die Möglichkeit der Härtung schwer zugänglicher Bereiche (z. B. in Bohrungen) sowie die geringe Wärmebelastung der Bauteile und der damit verbundene geringe Verzug, kommen dabei zum Tragen.

Üblicherweise werden an den Bauteiloberflächen Bahnen mit einer Breite von 1 Millimeter bis zu mehreren Zentimetern im Vorschubverfahren gehärtet. Geschlossene Härtebahnen (z. B. Ringe) sind damit nur schwierig umzusetzen, da beim Zusammentreffen des Start- und Endpunktes der Laserhärtebahn Anlasseffekte auftreten können, die zu einer lokalen Absenkung der Härte sowie zu einer ungünstigen Eigenspannungsverteilung führen.

Gerade der Verschleißschutz an Bauteilen mit rotations-symmetrischen Funktionsflächen mittels Laserhärten ist aber in der Automobilindustrie und in anderen Branchen von hohem Interesse.

Ziel der Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWS Dresden war es deshalb, Verfahrensvarianten und dafür geeignete Strahlformungseinheiten zu entwickeln, mit denen auch rotations-symmetrische und kompliziert geformte Funktionsflächen durchgängig und anlasszonenfrei gehärtet werden können.

LÖSUNG

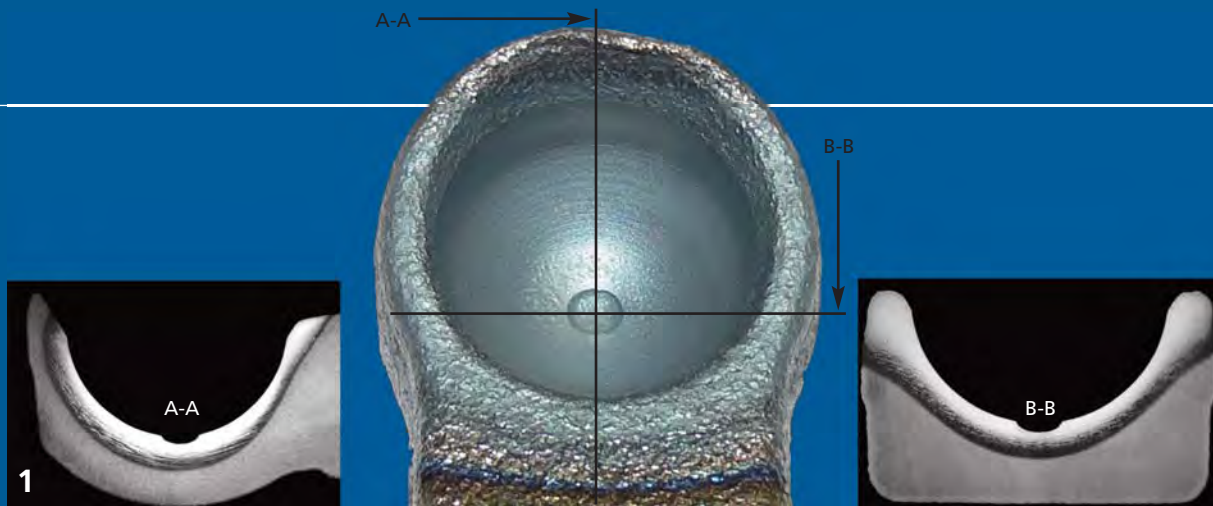
Für große kompliziert geformte Bauteile mit 3D-Härtezonegeometrien, wie z. B. Umformwerkzeugen, Turbinenschaufeln, Winkelringen o. ä., erfolgt die Härtung mit zwei kooperierend arbeitenden Robotern, die beide mit einem flexiblen 1D-Scannerstrahlformungssystem »LASSY« mit integrierter Temperaturregelung ausgestattet sind (siehe auch Jahresberichte 2009 / 2010). Darüber hinaus wurden folgende Verfahrensvarianten und zugehörige Strahlformungssysteme entwickelt, erprobt und in die industrielle Anwendbarkeit bzw. Produktion überführt:

1. Schnelle Bauteilrotation mit temperaturgeregelter Laserleistungssteuerung
2. Bauteilangepasste Ringstrahloptiken
3. 2D-Scanner
4. Drehspiegeloptiken

Damit stehen den Anwendern spezifische Lösungen für eine breite Bauteilpalette zur Verfügung, die neue Lösungen für Konstruktion und Fertigung hoch belasteter Bauteile ermöglichen und dazu beitragen, Fertigungszeiten, Kosten und Energiebedarf bei der Randschichthärtung deutlich zu senken.

ERGEBNISSE

1. Für Wellen, Wellenabsätze, Ringnuten, Anlaufkanten o. ä. bis ca. 50 mm Durchmesser eignet sich die Erzeugung eines ringförmigen Austenitisierungsfeldes durch ausreichend schnelle Rotation des Bauteils. Nach einer kurzen Aufheizphase kann der glühende Ring mittels einer NC-Vorschubbewegung entlang des rotierenden Bauteils geführt werden.



Die Flexibilität dieser einfachen Verfahrensvariante ist sehr hoch, da die Anpassung an Werkstoff, Bauteildurchmesser, Härtungszonentiefe und Übergangsradien durch die NC-Steuerung erfolgt.

2. Für geschlossene Härteringe auf nahezu ebenen Flächen, z. B. für Muttern, Anlaufscheiben, Sitzflächen, Ventilsitzringe o. ä. eignen sich speziell entworfene Ringoptiken, mit denen die komplette Härtebahn in einem Schuss gehärtet wird. Einer äußerst einfachen Bauteilaufnahme stehen jedoch für größere Durchmesser oder Ringbreiten überproportional wachsende Laserleistungen gegenüber.

3. Mit 2D-Scannern können dagegen quasi beliebig geformte geschlossene Härtebahnen auf ebenen bzw. leicht gekrümmten Flächen erzeugt werden. Im Vergleich zu statischen Ringoptiken sind bei größeren Härtebahnen andere Grenzwerte in Bezug auf die erreichbare Einhärtetiefe zu beachten, der Laserleistungsbedarf ist in der Regel deutlich geringer.

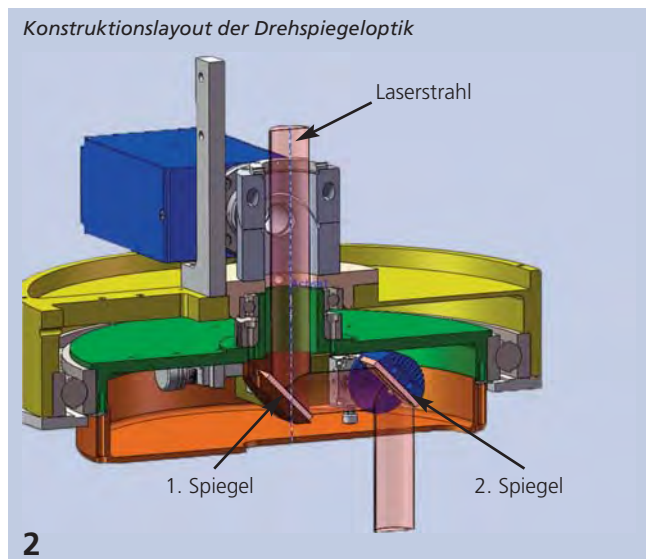
4. Für stark gekrümmte, rotationssymmetrische konvexe oder sogar konkave Bauteiloberflächen wurde eine flexible Sonderoptik auf Basis eines rotierenden Spiegelsystems mit integrierter Temperaturregelung entwickelt. Der Laserstrahl wird

über zwei Umlenkspiegel geführt, die um die Laserstrahlachse rotieren (Abb. 2).

Die Drehzahl kann stufenlos an die Anwendung angepasst werden. Durch Winkelverstellung am zweiten Umkehrspiegel lässt sich nicht nur eine ausreichend steile Einstrahlung des Laserstrahls auf ebene und leicht gekrümmte Funktionsflächen realisieren, sondern auch stark gekrümmte Flächen und sogar zylindrische Bereiche an Wellen lassen sich bearbeiten. Die Flexibilität der Drehspiegeloptik ist diesbezüglich optimal, aufgrund der Drehbewegung sind aber ausschließlich rotationssymmetrische Flächen der Bearbeitung zugänglich.

Ein Anwendungsbeispiel für den industriellen Einsatz der Drehspiegeloptik ist die lokale Härtung der Kugelkalotte an Bauteilen aus der Fahrwerkstechnik. Besondere Herausforderung bei der Verfahrensentwicklung war dabei die Forderung nach einer möglichst schalenförmigen und lückenlosen Härtung der gesamten Kugelteilfläche (Abb. 1). Dies gestaltet sich aufgrund der unterschiedlichen Wandstärken im Bereich der Härtezone besonders schwierig. Für die Anwendung der Drehspiegeloptik im industriellen Umfeld wurde eine kompakte Bearbeitungskammer entwickelt. Das System lässt sich aufgrund der kompakten Bauform leicht in vorhandene Fertigungslinien integrieren, auch die Verwendung der Laserhärtestation Stand-Alone mit eigener Steuerung und manueller bzw. automatischer Teilezuführung ist problemlos möglich.

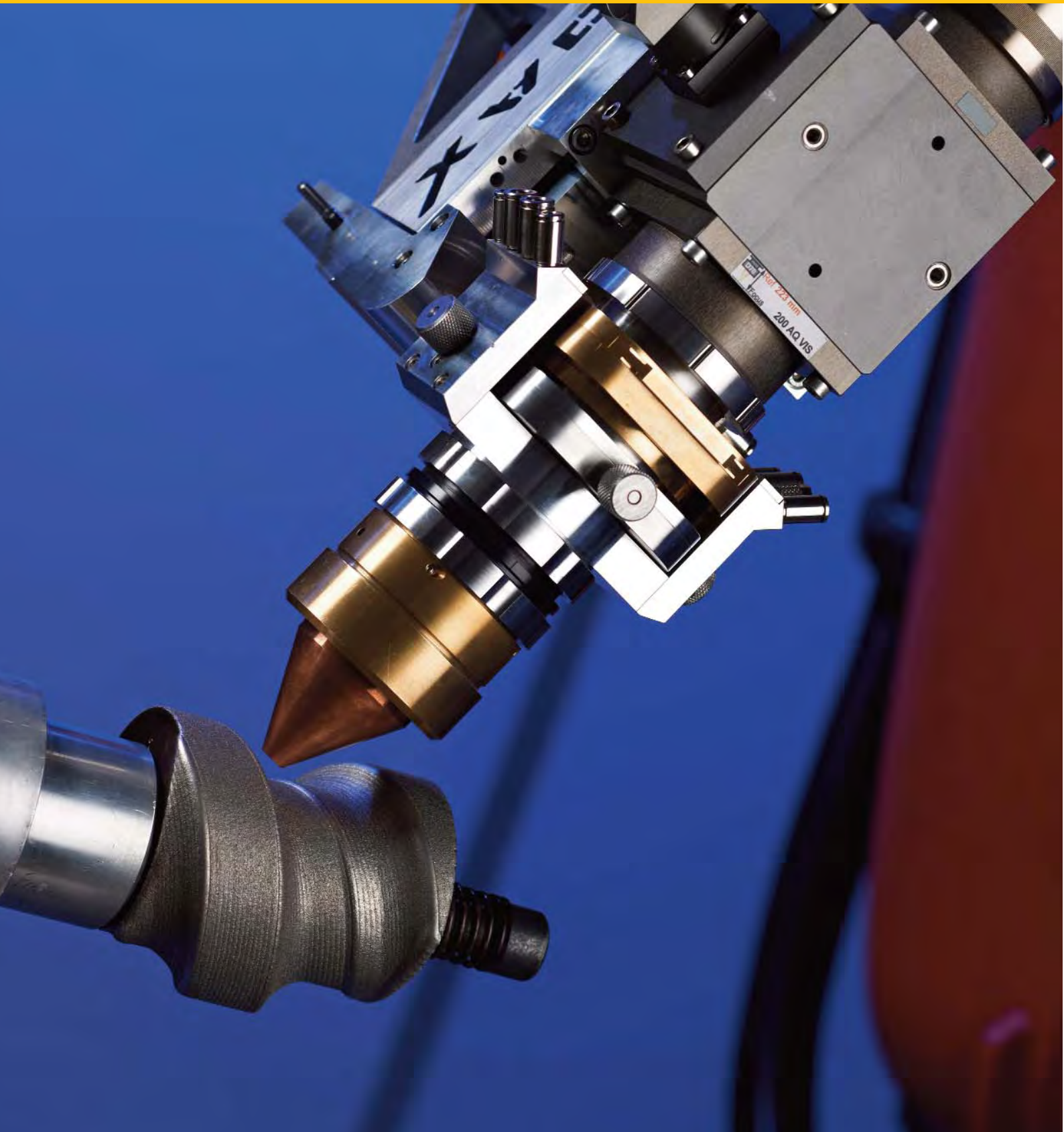
1 Längs- und Querschliff einer lasergehärteten Kugelkalotte



KONTAKT

Dipl.-Phys. Marko Seifert
 Telefon: +49 351 83391-3204
 marko.seifert@iws.fraunhofer.de





*Der einzige Weg, die Zukunft vorauszusagen,
ist, sie zu erbauen.*

Alan Kay



GESCHÄFTSFELD THERMISCHES BESCHICHTEN

Redaktion: In diesem Jahr ist ihre Abteilung um eine Gruppe reicher geworden. Was war die Motivation für den Kompetenzaufbau im Bereich Drucktechnologien?

Prof. Leyens: Drucken als Technologie zur Herstellung von 2D-Schichten und 3D-Strukturen ergänzt hervorragend unsere bestehenden Kompetenzen in diesem Bereich und eröffnet völlig neue Anwendungsfelder. Die hohe Präzision heute verfügbarer Drucker ermöglicht die Herstellung filigraner Strukturen. Dazu kommen eine hohe Druckgeschwindigkeit und die Möglichkeit, unterschiedliche Tinten zu verwenden. Unsere gedruckten Schichten oder Strukturen sollen z. B. im Bereich der Elektronik, der Batterietechnik, der Photovoltaik, zum »energy harvesting« durch thermoelektrische Generatoren oder in mikrosystemtechnischen Komponenten zum Einsatz kommen.

Redaktion: Das klingt spannend, aber gedruckte Leiterplatten in der Elektronikindustrie gibt es doch zum Beispiel schon. Worin liegt das Besondere der neuen Aktivitäten am IWS?

Prof. Leyens: In der Tat sind die Drucktechnologien durchaus verbreitet. Daher wollen wir ganz neue Wege gehen, indem wir unser profundes Material-Know-how und das Prozessverständnis clever miteinander kombinieren. So werden wir zum Beispiel durch Verfahrenskombination von Drucken und gleichzeitiger Wärmezufuhr die Trockenzeiten unserer Tinten verringern und damit in der Lage sein, noch präzisere Strukturen mit hoher Geschwindigkeit aufzubringen. Aber nicht nur die schnelle Trocknung der Spezialtinten ist unser Ziel, sondern auch die lokale Wärmebehandlung zur Einstellung der entscheidenden Werkstoffeigenschaften, z. B. thermische Leitfähigkeit, magnetische oder mechanische Eigenschaften.

Redaktion: Beim thermischen Spritzen setzen Sie inzwischen verstärkt Suspensionen ein. Worin besteht hier der Vorteil?

Prof. Leyens: Die bislang eingesetzten Pulver müssen eine bestimmte Partikelgröße aufweisen, damit sie noch sicher gefördert und dem Spritzprozess zugänglich gemacht werden können. Kleine Partikel, z. B. Nanoteilchen, bereiten hierbei Probleme, denn sie neigen zum Verklumpen. In Wasser oder Alkohol suspergiert, können selbst kleinste Teilchen thermisch gespritzt werden. Das verschafft uns riesige technologische Vorteile, denn durch die Wahl der richtigen Prozessparameter können wir dichte oder poröse Schichten mit hoher oder niedriger Dicke – je nach Kundenwunsch und Anwendungsfall – abscheiden. Aufgrund der kleinen Partikelgröße können wir diese sogar verdampfen, so dass wir Strukturen wie beim Aufdampfprozess erhalten und dabei viel kostengünstiger sind. Durch Spritzen von Suspensionen lassen sich beispielsweise keramische Wärmedämmschichten herstellen, deren Morphologie an die von elektronenstrahlgedampften Schichten erinnert.

Redaktion: Welche Entwicklungsschwerpunkte gibt es beim Laserauftragschweißen?

Prof. Leyens: Beim Laserauftragschweißen mit Draht und Pulver verfolgen wir im Wesentlichen zwei Hauptrichtungen: Auftragschweißen mit hoher Produktivität und Generieren mit höchster Präzision. Durch Energiequellenkombination von Laserstrahl und induktiver Heizung können wir hohe Auftragsraten erzeugen und somit den Prozess wirtschaftlicher machen. Das ist zum Beispiel für Anwendungen in der Öl- und Gasindustrie von großem Interesse, wo schwere Bauteile durch Auftragschweißungen vor Verschleiß geschützt werden müssen. Andererseits gibt es zum Beispiel in der Luftfahrt Anwendungen, in denen generativ erzeugte Strukturen höchster Präzision erforderlich sind. Ob hohe Produktivität oder höchste Präzision: mit unserem umfassenden Werkstoff- und Prozess-Know-how können wir in Kombination mit applikationsorientierten Systemtechniklösungen fast jeden Kundenwunsch erfüllen.



KOMPETENZEN

THERMISCHES SPRITZEN

Zum thermischen Beschichten von Bauteilen aus Stahl, Leichtmetallen oder anderen Werkstoffen mit Metallen, Hartmetallen und Keramik stehen im IWS das atmosphärische (APS) und das Flamm- und Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF und HVOF) mit Pulvern und Suspensionen zur Verfügung.

In Kooperation mit weiteren Fraunhofer-Instituten in Dresden umfasst das Angebotsspektrum:

- Konzeption beanspruchungsgerechter Schichtsysteme,
- Entwicklung von vollständigen Beschichtungslösungen vom Werkstoff bis zum beschichteten Bauteil,
- Entwicklung und Fertigung von systemtechnischen Komponenten,
- Mitwirkung bei der Systemintegration,
- Unterstützung des Anwenders bei der Technologieeinführung.

AUFTRAGSCHWEISSEN

Zur Reparatur und Beschichtung von Bauteilen, Formen und Werkzeugen stehen das Laserstrahl- und Plasma-Pulver-Auftragschweißen sowie Hybridtechnologien in der Kombination von Laser, Plasma und Induktion zur Verfügung. Durch Auftragen, Legieren oder Dispergieren von Metalllegierungen, Hartstoffen und Keramik können dichte Schichten und 3D-Strukturen erzeugt werden. Für alle Technologien ist die geschlossene Prozesskette von der Digitalisierung und Datenaufbereitung bis zur Endbearbeitung nutzbar.

Für diese Anwendungsfelder bieten wir an:

- Simulation von Auftragschweißprozessen,
- Beschichten und formgebendes Laser-Auftragschweißen mit höchster Präzision und Produktivität,
- Bearbeitungsköpfe und CAM-Software für die industrielle Nutzung der Lasertechnologie,
- Vor-Ort-Betreuung der Produktionseinführung in der Praxis.

DRUCKTECHNOLOGIEN

Durch Drucken lassen sich 2D- und 3D-Strukturen auf Oberflächen mit hoher Präzision und Reproduzierbarkeit zu vergleichsweise geringen Kosten aufbringen. Mit dem Aufbau von Kompetenzen im Bereich der Drucktechnologien trägt das IWS der steigenden Nachfrage nach großflächiger und strukturierter Abscheidung von Schichten und generativ erzeugten Mikrokomponenten Rechnung. Die verarbeitbaren Materialien schließen unter anderem Metalle, leitfähige Oxide, Barrierschichten, Thermoelektrika und CNT ein.

ABTEILUNGSLEITER

PROF. CHRISTOPH LEYENS

Telefon +49 351 83391-3242
christoph.leyens@iws.fraunhofer.de



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2011

- 1. HVAF - Ein alternatives Verfahren des Hochgeschwindigkeitsflammspritzens 64
- 2. Thermisches Spritzen mit Suspensionen - Innovationen bei Schichtarchitektur und Qualität 66
- 3. Zerstörungsfreie Prüfung thermischer gespritzter Schichten 68
- 4. Effiziente Prozessverkettung für die Praxis des Laser-Auftragschweißens 70
- 5. Rückseiten-Passivierung von kristallinen Silizium-Solarzellen 72

GRUPPENLEITER

THERMISCHES SPRITZEN

DR. LUTZ-MICHAEL BERGER

Telefon +49 351 83391-3330
lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

AUFTRAGSCHWEISSEN

DR. STEFFEN NOWOTNY

Telefon +49 351 83391-3241
steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITERIN

DRUCKTECHNOLOGIEN

DR. INES DANI

Telefon +49 351 83391-3405
ines.dani@iws.fraunhofer.de





HVAF - EIN ALTERNATIVES VERFAHREN DES HOCHGESCHWINDIGKEITSLAMMSPRITZENS

DIE AUFGABE

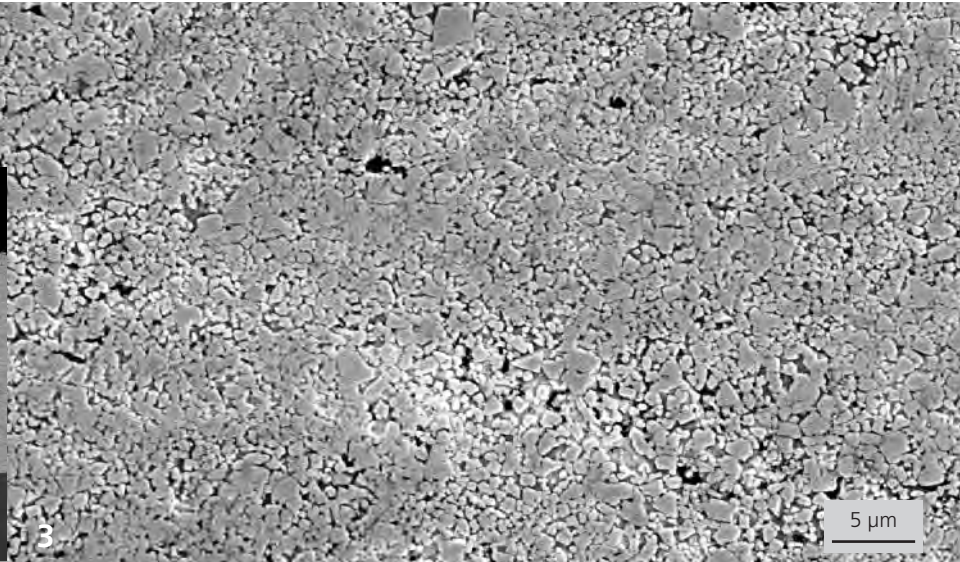
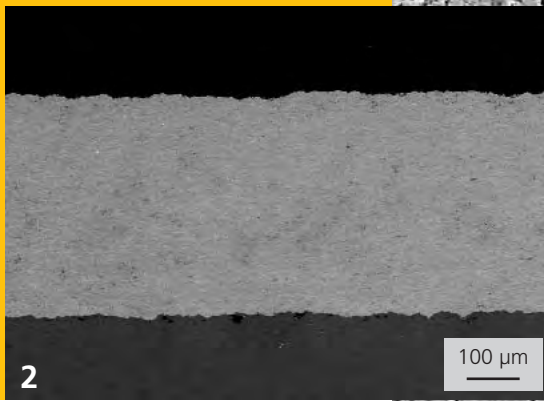
Auf dem Gebiet thermischer Spritzverfahren hat sich in den letzten Jahren das Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF, engl.: high velocity oxy-fuel) als flexible und zuverlässige Beschichtungstechnologie in der Industrie etabliert. HVOF-gespritzte metallische Schichten und Hartmetallschichten zeichnen sich durch ihre sehr hohe Dichte aus. Letztere besitzen eine außerordentlich hohe Verschleißbeständigkeit und können auch in Anwendungen mit Ermüdungsbeanspruchung eingesetzt werden.

Zur Erschließung neuer industrieller Applikationsfelder thermisch gespritzter Hartmetall- und Metallschichten ist es jedoch notwendig, die Wirtschaftlichkeit des Hochgeschwindigkeitsflammspritzens zu erhöhen. Hierbei kommt neben der Verbesserung des Auftragwirkungsgrades auch der Verringerung des Wärmeeintrages in das Bauteil sowie der Senkung der Investitions- und Betriebskosten der Beschichtungsanlage eine entscheidende Bedeutung zu. Außerhalb von Europa hat sich in den letzten Jahren ein neues Hochgeschwindigkeitsflammspritzverfahren etabliert, welches Luft an Stelle von Sauerstoff zur Verbrennung verwendet. Deshalb wird es als HVAF (high velocity air fuel) bezeichnet, hat aber im Deutschen keine spezielle Bezeichnung. Das Fraunhofer IWS Dresden hat sich die Evaluierung von Möglichkeiten und Einsatzgrenzen dieser Technologie zur Aufgabe gemacht.

UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer IWS ist seit 2010 eine M2™ AC-HVAF-Beschichtungsanlage im Einsatz. Sie ergänzt die bereits etablierten Systeme. Mit diesem neuen Verfahren werden Partikelgeschwindigkeiten von Mach 2, d.h. 600 - 700 m s⁻¹ erreicht. Das Spektrum der verarbeitbaren Beschichtungswerkstoffe reicht von niedrig schmelzenden Metallen über Hartlegierungen bis hin zu Hartmetallpulvern. Die Anlage ist mit einem speziellen Pulverfördersystem ausgerüstet. Neben dem Einsatz von komprimierter Luft anstatt reinen Sauerstoffs kann außerdem auf eine Wasserkühlung verzichtet werden. Somit werden Prozesskosten minimiert. Als Brennstoffe kommen Methan, Propan oder Erdgas zur Anwendung.

Durch die niedrigeren Prozesstemperaturen und höheren Partikelgeschwindigkeiten werden Schichten mit höheren Zähigkeiten erreicht. Zudem ist der Wärmeeintrag in das Substrat geringer als beim HVOF-Prozess. Dies ermöglicht auch das Beschichten dünnwandiger Bauteile ohne zusätzliche Kühlphasen während des Beschichtungsprozesses.



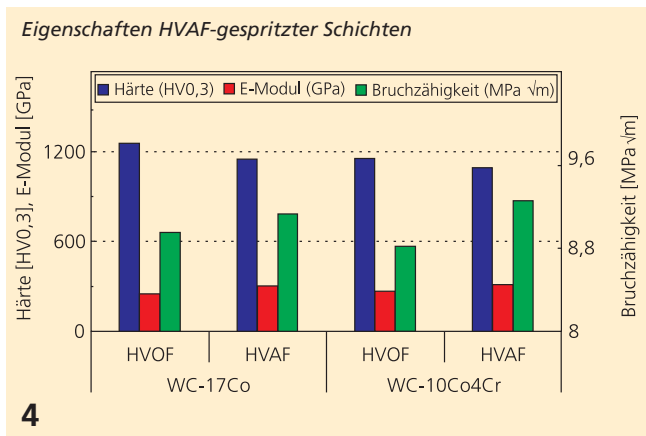
ERGEBNISSE

Im praktischen Einsatz kann die M2™ neben der verbesserten Effizienz aufgrund ihrer spezifischen Prozesseigenschaften und ihrer Robustheit auch durch qualitativ hochwertige Schichten überzeugen.

So werden bei der Beschichtung von Hartmetallen und Metallen Auftragwirkungsgrade von bis zu 80 % erreicht. Zudem können durch die gegenüber HVOF-Prozessen höheren Partikelgeschwindigkeiten die Partikeltemperaturen weiter gesenkt werden. Aufgrund der sehr hohen kinetischen Energie der Pulverpartikel weisen die resultierenden Schichten eine sehr dichte Mikrostruktur und eine verbesserte Anbindung zur Substratoberfläche auf. Außerdem tragen die niedrigeren Partikeltemperaturen zur Verringerung der Oxidation bei der Verarbeitung von Metallen und zur Vermeidung unerwünschter Phasenumwandlungen (Dekarburierung) bei Hartmetallen bei.

Untersuchungsergebnisse für die mechanisch-physikalischen Eigenschaften Härte (HV0,3 im Querschliff), E-Modul und Bruchzähigkeit zeigen, dass HVOF-gespritzte Schichten bei vergleichbarer Porosität in der Regel eine geringere Härte aber einen höheren E-Modul und eine höhere Bruchzähigkeit aufweisen als HVOF-gespritzte Schichten (Abb. 4).

Die Auswirkungen der veränderten Schichteigenschaften HVOF-gespritzter Schichten auf die Verschleißigenschaften werden gegenwärtig untersucht. Erste Erkenntnisse erlauben die Annahme, dass die HVOF-gespritzten Schichten auch für neue Anwendungen, wie z. B. Bauteile mit Rollkontakt-ermüdung, geeignet sind.

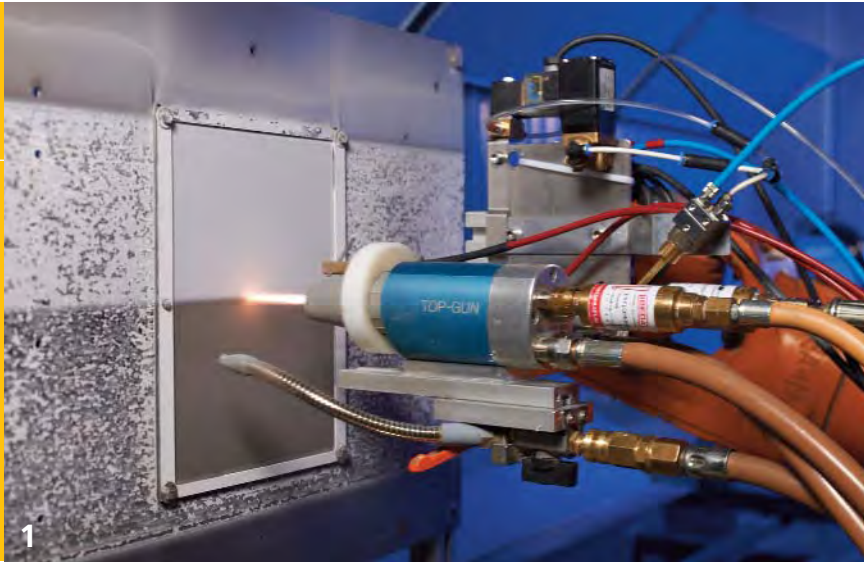


- 1 M2™ AC-HVOF-Spritzanlage im Fraunhofer IWS
- 2 Übersichtsaufnahme der WC-17Co-Hartmetallschicht auf Stahl-Substrat
- 3 Mikrostruktur einer HVOF-gespritzten WC-17Co-Hartmetallschicht

KONTAKT

Dipl.-Ing. Jörg Spatzier
 Telefon: +49 351 83391-3337
 joerg.spatzier@iws.fraunhofer.de





THERMISCHES SPRITZEN MIT SUSPENSIONEN – INNOVATIONEN BEI SCHICHTARCHITEKTUR UND QUALITÄT

DIE AUFGABE

Das thermische Spritzen gehört zu den etablierten Oberflächentechnologien für vielfältige industrielle Anwendungen. Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS) und Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF), die am meisten verwendeten Spritzverfahren, bieten eine hohe Flexibilität bezüglich Beschichtungslösungen aus Oxidkeramiken, Hartmetallen, Metallen und bei Schichtdicken von 100 µm bis zu einigen Millimetern. Über die gesamte Werkstoffpalette hinweg werden Beschichtungspulver mit typischen Partikelgrößen von 10 µm bis 100 µm eingesetzt. Für die Realisierung neuer Anwendungen müssen die Schichteigenschaften, deren Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit ständig erhöht werden.

UNSERE LÖSUNG

Der Einsatz von Suspensionen an Stelle von herkömmlichen Beschichtungspulvern bietet neue Möglichkeiten, wie z. B. die direkte Verwendung feindisperser Pulver mit Partikelgrößen im Bereich von Nanometern bis zu wenigen Mikrometern, die Herstellung feinstrukturierter Schichten mit einer Schichtdicke von weniger als 10 µm und die wirtschaftliche Herstellung von Beschichtungen mit neuen Eigenschaftsprofilen und Qualitäten, welche durch konventionelles Spritzen mit Pulver unerreichbar sind.

Für das thermische Spritzen mit Suspensionen werden als Hardwarekomponenten geeignete Suspensionsförderer und Suspensionsinjektoren benötigt, die sich in bestehende Spritzanlagen integrieren lassen. Im Fraunhofer IWS Dresden wurde

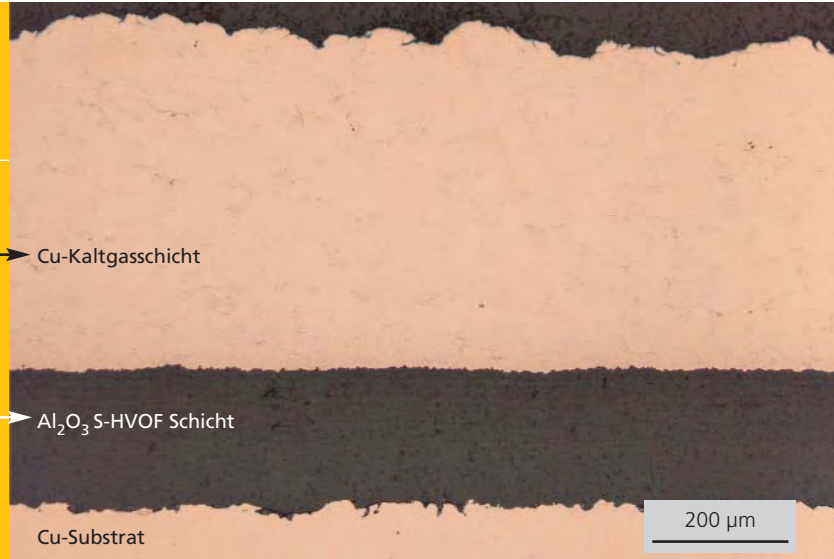
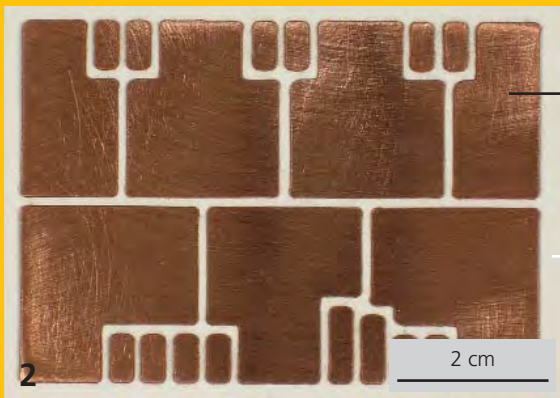
das Suspensionsspritzverfahren an eine F6-Plasmaspritzanlage und eine TopGun-HVOF-Anlage angepasst (Abb. 1).

Mit der verwendeten Suspensionsfördereinheit lassen sich eine konstante Förderrate und hohe Prozessstabilität gewährleisten. Mit Förderraten bis zu 100 ml min⁻¹ sind Auftragswirkungsgrade bis zu 70 % erreichbar. Die Injektoren können die Suspensionen je nach verwendeter Spritzanlage sowohl axial (intern) als auch radial (intern oder extern) in die Flamme bzw. das Plasma eindüsen.

Suspensionen mit einem Feststoffanteil von 5 bis zu 50 Gew.-% werden durch die Dispersion feindisperser Pulver in Lösungsmitteln hergestellt. Typische Lösungsmittel sind destilliertes oder deionisiertes Wasser, Alkohole oder Wasser-Alkohol-Mischungen. Die Homogenität und Langzeitstabilität von Suspensionen sind für den Spritzprozess und die Qualität der resultierenden Schichten von entscheidender Bedeutung. Die Entwicklung geeigneter Suspensionen erfolgt in Kooperation mit dem Fraunhofer IKTS.

ERGEBNISSE

Das Spritzen mit Suspensionen ermöglicht die Herstellung von keramischen Schichten mit maßgeschneiderter Mikrostruktur. Schichtdicken von wenigen Mikrometern bis zu einigen Millimetern sind ebenso herstellbar wie Schichten mit dichter bis poröser Struktur.



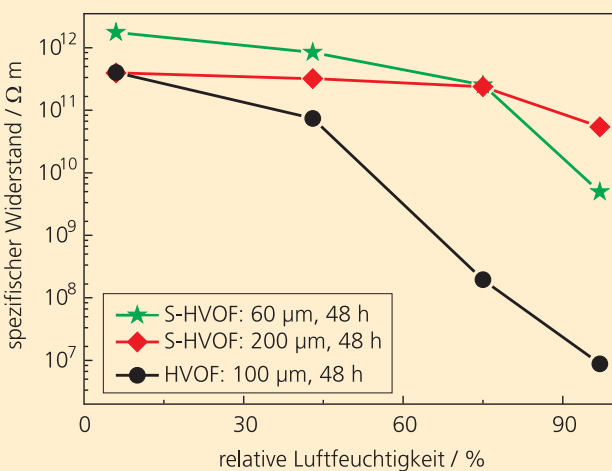
Die mechanischen Eigenschaften (Härte, E-Modul) suspensionsgespritzter Schichten sind mit denen von aus Pulvern hergestellten Schichten vergleichbar oder deutlich besser. Gleichzeitig können geringere Oberflächenrauheiten und Anisotropien der Schichten erreicht werden. Auch die erzielten wirtschaftlichen Parameter, wie z. B. Auftragwirkungsgrad und Schichtdicke per Überfahrt sind wirtschaftlich attraktiv.

Suspensionsschichten unterscheiden sich in ihrer Phasenzusammensetzung und Schichtarchitektur deutlich von konventionellen Schichten. Bei Aluminiumoxid (Al_2O_3) kann zum Beispiel bei der Verwendung geeigneter Suspensionen die meist unerwünschte $\alpha \rightarrow \gamma$ Phasenumwandlung auch ohne stabilisierende Zusätze stark verringert werden. Dank der

Kombination von spezifischer Mikrostruktur und höherem α -Anteil weisen die suspensionsgespritzten HVOF Al_2O_3 -Schichten eine höhere Langzeitstabilität der Isolationsfähigkeit als herkömmliche Spritzschichten auf. Wie in Abb. 3 dargestellt, nimmt der spezifische Widerstand konventioneller HVOF Al_2O_3 -Schichten in feuchter Umgebung stark ab. Dagegen zeigen die Al_2O_3 -Suspensionsschichten (S-HVOF) auch mit niedrigen Schichtdicken bessere elektrische Eigenschaften bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit.

In Zusammenarbeit mit der Helmut-Schmidt-Universität werden im Rahmen eines BMBF-Projektes (BmWi-Innonet, Förderkennzeichen 16INO696) suspensions-HVOF-gespritzte Al_2O_3 -Schichten als Isolatoren in Schaltungsträgern für die Hochleistungselektronik eingesetzt und getestet. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 2 dargestellt.

Abhängigkeit des spezifischen Widerstandes von der relativen Luftfeuchtigkeit für eine konventionelle HVOF Al_2O_3 -Schicht (Schichtdicke: $100 \mu\text{m}$) und S-HVOF Al_2O_3 -Schichten (Schichtdicke: 60 und $200 \mu\text{m}$). Auslagerungsdauer jeweils: 48 h



- 1 Suspensions-HVOF-Spritzanlage im Fraunhofer IWS
- 2 Schaltungsträger für die Hochleistungselektronik: kaltgasgespritzte Cu-Schicht auf Suspensions-HVOF Al_2O_3 -Schicht auf Cu-Kühlkörper

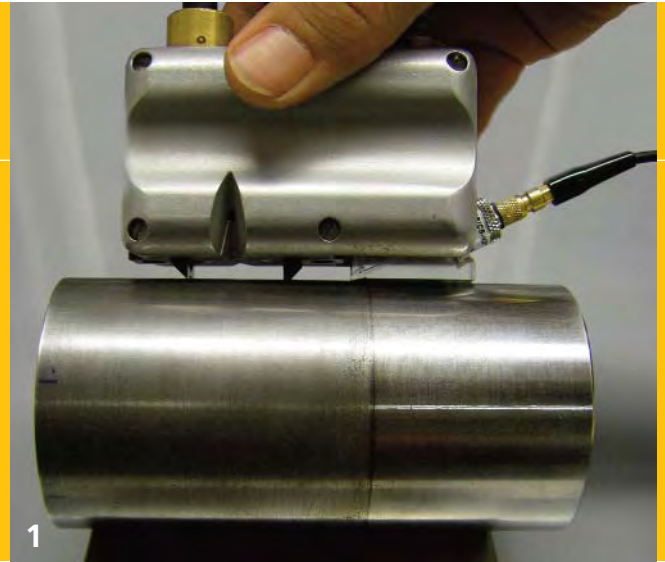
KONTAKT

Dr.-Ing. Filofteia-Laura Toma

Telefon: +49 351 83391-3191

filofteia-laura.toma@iws.fraunhofer.de





ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG THERMISCH GESPRITZTER SCHICHTEN

DIE AUFGABE

Thermisches Spritzen ist eine hocheffiziente Technologie, um Verschleißschutz- und funktionale Schichten auf sehr unterschiedliche Bauteile aufzutragen. Obwohl mit modernen thermischen Spritzverfahren nahezu porenfreie Schichten hergestellt werden können, sind Mikrodefekte und Restporosität nicht zu vermeiden. Abhängig vom Einsatz kann eine bestimmte Menge an Poren nützlich sein. In den meisten Fällen verringern Porosität und erhöhte Defektdichte jedoch die Integrität des Schichtmaterials, was sich nachteilig auf die mechanische Festigkeit und Haftung auswirkt. Ein schnelles und zerstörungsfreies Prüfverfahren ist deshalb für die Werkstoffentwicklung und die Qualitätskontrolle thermisch gespritzter Schichten von großem Nutzen.

UNSERE LÖSUNG

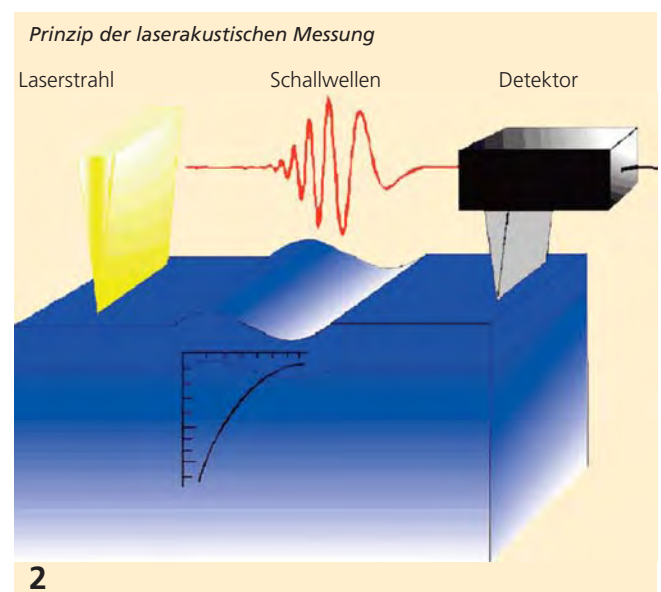
Der Elastizitätsmodul (E-Modul) ist nicht nur eine wichtige mechanische Kenngröße thermisch gespritzter Schichten, sondern auch ein sensibler Indikator für eine erhöhte Porosität und Mikrorissdichte in der Schicht.

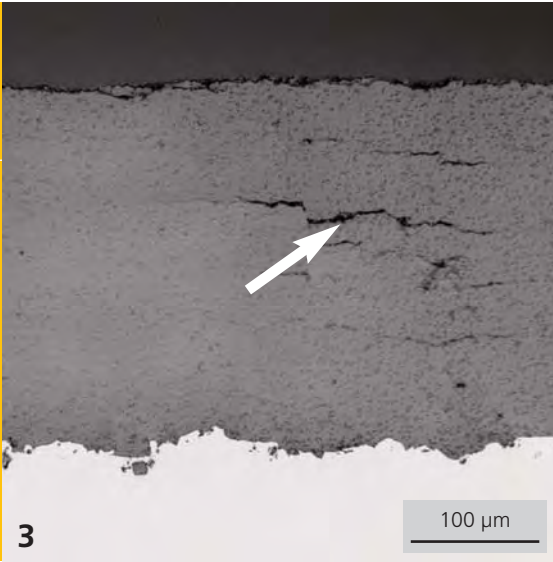
Die Messungen erfolgen mit der LAwave®-Methode, die auf laserinduzierten akustischen Oberflächenwellen beruht. Akustische Oberflächenwellen sind elastische Schwingungen geringer Auslenkung, die sich an den Oberflächen ausbreiten und daher die Materialstruktur nicht beeinflussen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Oberflächenwellen wird in Abhängigkeit von der Frequenz gemessen und daraus der Elastizitätsmodul der Schicht bestimmt. Für die schnelle, zerstörungsfreie Prüfung am Bauteil wurde eine Handprüfvorrichtung entwickelt (Abb. 1).

ERGEBNISSE

Laserinduzierte akustische Oberflächenwellen werden erfolgreich zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Spritzschichten aus keramischem Material, Hartmetallen sowie von Mehrschichtschichten angewendet. Diese schnelle und zerstörungsfreie Prüfmethode erfasst ein größeres Schichtvolumen als der instrumentierte Eindringtest. Es wird der effektive Elastizitätsmodul dieses Volumens bestimmt, der von Mikrodefekten maßgeblich beeinflusst wird (Abb. 2).

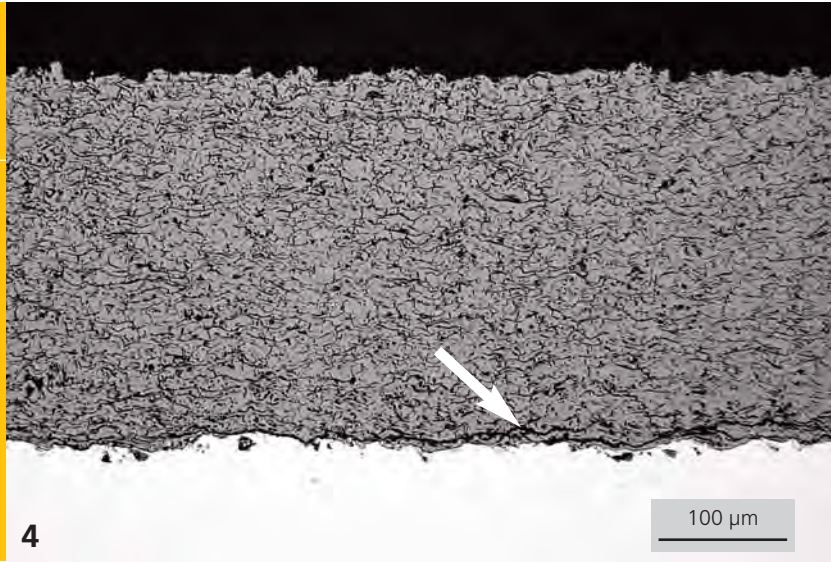
Das geprüfte Schichtvolumen beträgt mindestens 5 mm x 5 mm x Schichtdicke. Die Eindringtiefe der Messung ist abhängig von der Wellenlänge, erreicht aber für alle typischen Schichtdicken das Substrat.





3

100 µm



4

100 µm

ANWENDUNGSBEISPIELE

Nachweis von Rissen

Die dramatische Auswirkung von Rissen auf den Elastizitätsmodul ist in Abbildung 3 dargestellt. Sie zeigt den metallografischen Querschliff einer suspensionsgespritzten Al_2O_3 -Schicht. Diese Schicht weist laterale Risse auf. Gegenüber fehlerfreien Schichten verringern diese Risse den Elastizitätsmodul der Schicht von 101 GPa auf 46 GPa.

Nachweis von Haftungsfehlern

Für APS-gespritzte Cr_2O_3 -Schichten werden in der Regel Elastizitätsmoduln von ca. 50 GPa gemessen. Für die in Abbildung 4 dargestellte Schicht ergab die LAwave®-Messung einen Wert von 23 GPa. Es war daher ein Defekt in dieser Schicht zu vermuten. Um diesen Defekt zu lokalisieren, wurde für die Berechnung angenommen, dass die Schicht aus zwei Lagen besteht. Die Lage an der Grenzfläche der Schicht zum Substrat sollte eine Dicke von 10 µm haben. Dafür ergab sich ein sehr geringer Elastizitätsmodul von nur 4 GPa. Für die restliche obere Lage mit einer Dicke von 290 µm wurde dagegen ein Wert von 52 GPa bestimmt, was ein übliches Ergebnis für diese Schichten ist. Dies führte zu der Schlussfolgerung, dass an der Grenzfläche der Schicht zum Substrat ein Defekt in Form eines Bindefehlers vorliegen muss, was mit Hilfe der in Abbildung 4 dargestellten lichtmikroskopischen Aufnahme bestätigt werden konnte.

Die in der Tabelle aufgeführten Werte zeigen, dass der E-Modul oxidkeramischer Schichten stark vom Beschichtungsverfahren abhängt.

Mit dem laserakustischen Prüfverfahren LAwave® ermittelte E-Module für Schichten unterschiedlicher Spritzverfahren: Atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF), Spritzen mit Suspensionen (Suspension)

Schichtwerkstoff	Spritzverfahren	E-Modul, GPa
Al_2O_3	APS	68 ± 1
Al_2O_3	HVOF	113 ± 2
Al_2O_3	Suspension	101 ± 6
TiO_2	APS	76 ± 1
TiO_2	HVOF	111 ± 1
TiO_2	Suspension	88 ± 4

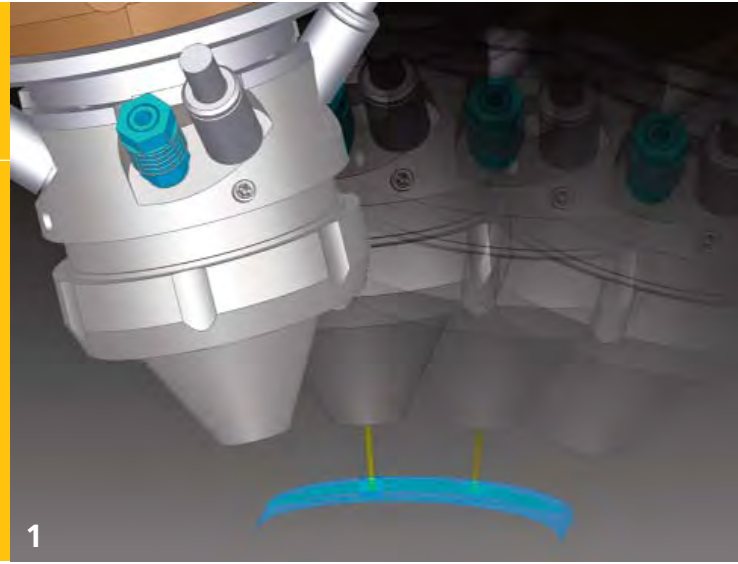
5

- 1 Laserakustische Handprüfvorrichtung
- 3 Al_2O_3 -Schicht mit lateralen Rissen, E-Modul: 46 GPa
- 4 APS-gespritzte Cr_2O_3 -Schicht mit Haftungsfehler, E-Modul der Grenzschicht (10 µm dick) : 4 GPa
E-Modul der Deckschicht (290 µm dick) : 52 GPa

KONTAKT

Dr. Dieter Schneider
 Telefon: +49 231 844-3451
dieter.schneider@iws.fraunhofer.de





1

EFFIZIENTE PROZESSVERKETTUNG FÜR DIE PRAXIS DES LASER-AUFTRAGSCHWEISSENS

AUFGABE

Das Laser-Präzisionsauftragschweißen gehört heute zu den fest etablierten Fertigungsverfahren in der modernen industriellen Produktion. Die exzellenten Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsparameter der Laserquellen, Bearbeitungsköpfe sowie der Prozess selbst geben den Ausschlag für die Wahl des Lasers alternativ zu anderen Auftragschweißverfahren. Neben dem Oberflächenbeschichten besteht das aktuelle Hauptanwendungsgebiet des Lasers im generativen Auftragschweißen für Reparaturen, Designänderungen und die direkte Fertigung von Werkzeugen und Bauteilen. Insbesondere für die industrielle Nutzung des Verfahrens zum Reparieren und Formändern ist die präzise Kenntnis des aktuellen Verschleiß- oder Schädigungszustands sowie das Vorliegen dreidimensionaler Daten des Negativ- oder Differenzvolumens von ausschlaggebender Bedeutung für die Prozessgestaltung.

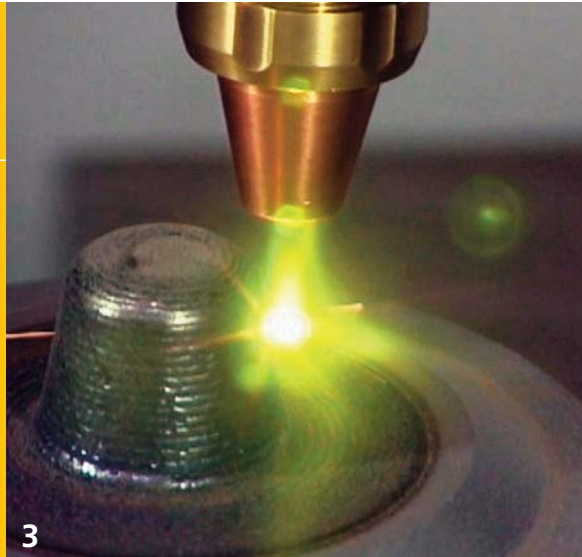
Das Erfassen dieser Daten muss außerdem in Korrelation zur Lage des Bauteils und der betreffenden Bearbeitungsstellen im Raum erfolgen und bereits frühzeitig in Übereinstimmung mit der Schweißstrategie gebracht werden. So umfasst der vollständige generative Prozess, neben dem Auftragschweißen selbst, verschiedene vor- und nachgelagerte Arbeitsschritte. Es ist vor allem deren notwendige Kopplung mit dem parametergesteuerten, metallurgischen Prozess des dreidimensionalen Metallauftrags, die den Erfolg des Fertigungsprozesses bestimmt.

Die Wirtschaftlichkeit und Qualität einer realen industriellen Anwendung bestimmt sich somit aus der Durchgängigkeit der gesamten Prozesskette von der Datengenerierung und -verarbeitung, dem Auftragschweißen und schließlich der spanenden Endbearbeitung.

Stufen der Bauteilbearbeitung in der geschlossenen Prozesskette



2



UNSERE LÖSUNG

Auf der Grundlage von Geometriedaten wird mit der modernen CAM-Software IWS/SKM DCAM 2011 für das Laser-auftragschweißen und die Endbearbeitung der NC-Maschinen-code erstellt, der den Fertigungsprozess beschreibt (Abb. 1). Dieser enthält neben den Koordinaten der Werkzeugbahnen auch die Bearbeitungsstrategien. Der Laserstrahl erzeugt an den entsprechenden Bereichen des Bauteils einen endkontur-nahen Volumenauftrag (Abb. 3). Mit der anschließenden direkt integrierten spanenden Bearbeitung in der gleichen Einspannung erhält das Bauteil sein Endmaß. Für die hierzu erforderliche Geometriedatenermittlung sind vollauto-matisierte Messsysteme grundsätzlich kommerziell verfügbar. Diese sind jedoch im Allgemeinen unnötigerweise teuer, da sie hochpräzise Achsenstellantriebe, Messaufnehmer sowie eine separate Steuerung benötigen, die in einer modernen Laser-CNC- oder Roboteranlage ohnehin bereits vorhanden sind. Durch Kombination der CNC-Laseranlage mit einem 3D-Flächenscanner lässt sich so zum Beispiel ein Laser-Fräsbearbeitungszentrum um ein automatisiertes 3D-Digitalisie-rungssystem erweitern. Dieses vermag Digitalisierungsaufgaben mit der Qualität eines aufwändigen handelsüblichen Messsystems zu lösen, liegt jedoch entscheidend unter dessen Preis.

ERGEBNISSE

Das Ergebnis ist ein industriell einsetzbares Technologiemodul, das die automatisierte Erzeugung aktueller CAD-Daten des Bauteils zu jedem Fertigungsschritt und die Komplettbearbeitung in einer geschlossenen Prozesskette ohne Umspannung ermöglicht. Neben der Laser-Systemtechnik und der Technologie zur Endbearbeitung ist zusätzlich der 3D-Digitalisierer in die CNC-Laseranlage integriert. Die Bearbeitungsmaschine dient dabei gleichermaßen als Bewegungseinheit für das Digitalisieren, das Laser-Auftragschweißen und die spanende Endbearbeitung. Von Vorteil ist hierbei die Modularität des 3D-Digitalisiersystems, die einen universellen Einsatz ermöglicht.

Einzelne Hardwarekomponenten sind austauschbar, ohne dass das System komplett überarbeitet werden muss, da die hardwarespezifischen Softwarekomponenten des 3D-Digitalisierers sowie die des Bewegungssystems intelligent über Bibliotheken eingebunden werden.

Durch das Zusammenführen der einzelnen Fertigungsschritte in einer Anlage steht eine attraktive produktionstechnische Lösung zum generativen Laser-Auftragschweißen und Endbearbeiten zur Verfügung. Neben Reparaturaufgaben im Bereich der Triebwerksinstandsetzung wird dieses Technologie-modul zur Geometrieänderung von Großwerkzeugen im Karosseriebau eingesetzt. Ein aktuelles Beispiel ist das auf S. 9 vorgestellte Laser-Bearbeitungszentrum zum generativen Aufbau von Bauteilen aus Titan und anderen Hochleistungs-werkstoffen.

- 1 Erzeugung der Bearbeitungsstrategie für das LPA mittels DCAM
- 3 Beschichtungsprozess mittels LPA

KONTAKT

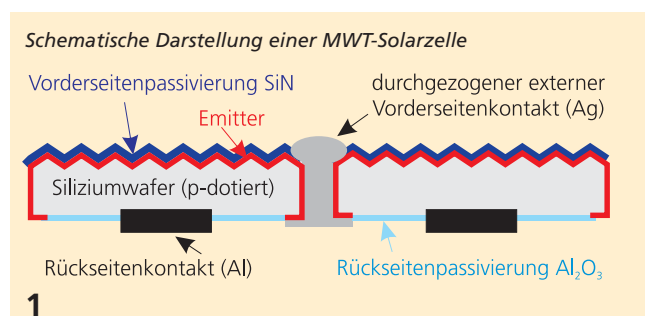
Dipl.-Ing. Frank Brückner
 Telefon: +49 351 83391-3452
frank.brueckner@iws.fraunhofer.de



RÜCKSEITEN-PASSIVIERUNG VON KRISTALLINEN SILIZIUM-SOLARZELLEN

AUFGABE

Ein Schwerpunkt des vom BMBF geförderten Wachstumskerns »Sächsisches Photovoltaik-Automatisierungs-Cluster« S-PAC (Förderkennzeichen 03WKBW03C) ist die Entwicklung von flexiblen und kompakten Automatisierungsmodulen für die Fertigung von Metal-Wrap-Through-Solarzellen (MWT-Solarzellen). Bei MWT-Zellen wird der externe Vorderseitenkontakt auf die Rückseite der Zelle verlagert (Abb. 1). Der Vorteil liegt in geringeren Abschattungsverlusten auf der Vorderseite und damit einem erhöhten Wirkungsgrad der Solarzelle. Im Rahmen des S-PAC-Projekts soll dieses Zellkonzept mit einer Rückseitenpassivierung der Solarzelle kombiniert werden.

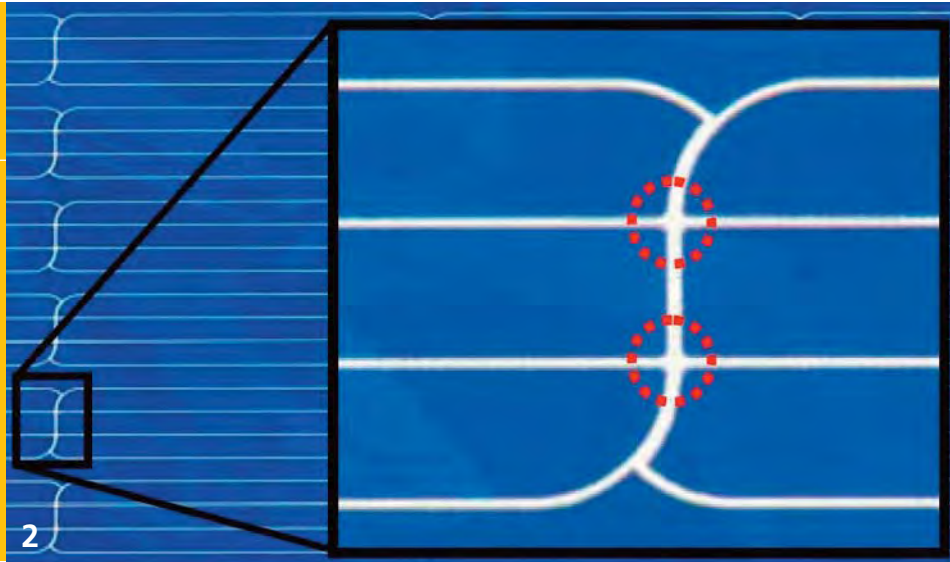


Am Fraunhofer IWS wird dafür ein Atmosphärendruck-Prozess zur Abscheidung der AlO_x-Passivierungsschichten entwickelt, der als Modul in eine Anlage zur Laserprozessierung von MWT-Zellen integriert werden kann. Die daraus resultierenden Anforderungen hinsichtlich des Durchsatzes sollen durch eine entsprechend hohe Beschichtungsrate des Prozesses erreicht werden. Weitere Anforderungen sind die Verwendung einfach zu handhabender Precursoren sowie eine geringe Konzentration umweltschädlicher oder toxischer Stoffe in der Prozessabluft.

UNSERE LÖSUNG

Als Beschichtungsverfahren wurde die Ultraschall-Spray-Pyrolyse ausgewählt. Dieses Verfahren arbeitet unter atmosphärischen Bedingungen und kann in einen Durchlaufprozess integriert werden. Als Precursoren werden stabile Aluminiumlösungen auf wässriger oder organischer Basis eingesetzt, die mit Hilfe einer Ultraschall-Spray-Düse auf den vorgeheizten Wafer gesprüht werden. In einem ersten Schritt erfolgte eine Evaluierung der Precursorchemie durch nass-chemische Abscheidung mittels Spin-Coating.

Als Precursoren kamen sowohl Aluminiumtriisopropoxid als auch Aluminiumsecbutoxid zum Einsatz. Aluminiumtriisopropoxid, ein pulverförmiger Feststoff, wurde in Wasser dispergiert. Ein stabiles Sol wurde durch die Zugabe von einigen Tropfen Salpetersäure erhalten. Die Partikelgröße (x_{DLS} -Wert) des Sols betrug 17 nm. Die Herstellung des Sols auf der Basis von Aluminiumsecbutoxid erfolgte mit Ethylacetoacetat und Isopropanol. Beide wurden auf bordotierte 4"-Siliziumwafer (1 - 5 Ohm-cm, Dicke: 525 $\mu\text{m} \pm 20 \mu\text{m}$, Vorderseite poliert) aufgeschleudert. Im Anschluss erfolgte eine Temperaturbehandlung der Wafer unter Umgebungsatmosphäre. Variiert wurden die Herstellungsbedingungen des Beschichtungssols, die Wafervorbehandlung, die Schichtdicke sowie das Temperaturregime beim Ausheizen der Schichten.



ERGEBNISSE

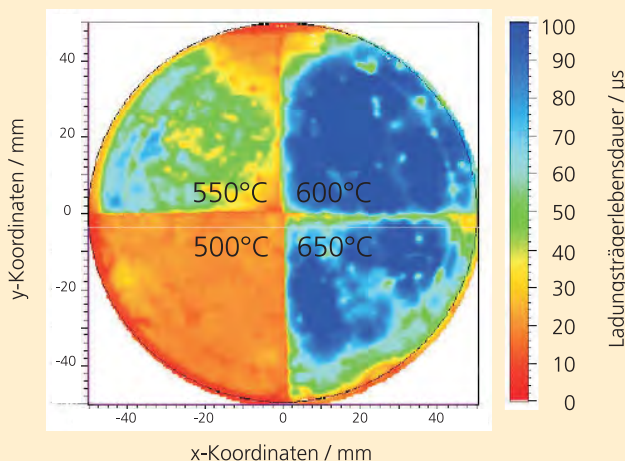
Die Dicke der untersuchten Schichten lag im Bereich von 33 nm bis 45 nm. Nach der Temperung weisen sie nahezu die stöchiometrische Zusammensetzung von Al_2O_3 auf. Die EDX-Analyse an Aluminiumoxidschichten, hergestellt aus einem wässrigen Sol aus Aluminiumtriisopropoxid, ergab ein Al-O-Verhältnis von 58,5 At.-% zu 41,5 At.-%. Bei einem organischen Sol aus Aluminiumsecbutoxid wurde ein Al-O-Verhältnis von 60,4 At.-% zu 39,6 At.-% gemessen.

In der Schicht wurden mittels XPS keine Verunreinigungen durch Kohlenstoff oder Stickstoff nachgewiesen (Sputtertiefe 10 nm). Auch FTIR-Transmissionsspektren zeigen nach der Wärmebehandlung der Schichten keine organischen Gruppen des Beschichtungssols. Bei einer Wellenlänge von 630 nm liegt der Brechungsindex im Bereich von 1,52 - 1,55. Die mittlere Rauheit der Schichten (R_a) beträgt 2 nm (Aluminiumtriisopropoxid-Sol) bzw. 0,5 nm (Aluminiumsecbutoxid-Sol).

Der mittels mikrowellendetektierter Photoleitfähigkeit bestimmte mediane Wert der Ladungsträgerlebensdauern (LTLD), der mit Aluminiumtriisopropoxid-Sol beschichteten Wafer, lag bei bis zu 97 μs . Es konnte eine starke Abhängigkeit der LTLD von der Wärmebehandlung der beschichteten Wafer festgestellt werden. Die beste LTLD wurde bei einer Behandlungstemperatur von 600 °C bis 650 °C erreicht (Abb. 3).

Zukünftig sollen die Schichten auf 156 mm x 156 mm großen und 180 μm dünnen Solarwafern aufgebracht werden. Die Erhöhung der Lebensdauer der Ladungsträger sowie die Auswirkungen des Beschichtungsprozesses auf die mit Laser eingebrachten Vias werden Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Ladungsträgerlebensdauermap unterschiedlich wärmebehandelter mikroelektronischer Wafer mit AlO_x Passivierung auf der Basis von Aluminiumtriisopropoxid-Sol



2 Metal-Wrap-Through-Solarzelle im Überblick und Detail

KONTAKT

Dr. Ines Dani
 Telefon: +49 351 83391-3405
 ines.dani@iws.fraunhofer.de





*Eine neue Erfindung schafft mehr Arbeitsstellen
als zehn neue Paragraphen.*

Norbert Blüm



GESCHÄFTSFELD CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND REAKTIONSTECHNIK

Redaktion: In den letzten Jahren hat die Wirtschaftskrise zu starken Turbulenzen geführt. Ganze Industriezweige sind ins Straucheln gekommen. In welchen Zukunftsfeldern sehen Sie ein Wachstumspotenzial?

Prof. Kaskel: Ein Schwerpunkt der Schichtentwicklung wird in den kommenden Jahren im Bereich der Elektromobilität zu erwarten sein. Hier sehen wir große Herausforderungen, um in Deutschland die Herstellung von Elektrodenmaterialien zu etablieren. Bisher sind nur wenige Mitstreiter (wie z. B. Evonik) aktiv. Es fehlen in Deutschland sowohl eine etablierte Zulieferindustrie im Bereich der Maschinenteknik als auch die Bereitstellung von Rohmaterialien. So werden fast ausschließlich Materialien aus Japan verarbeitet. Nicht zuletzt hat uns die Naturkatastrophe in Japan gezeigt, wie gefährlich eine derartige Abhängigkeit für Deutschland sein kann. Daher sehen wir in der Zusammenarbeit mit mittelständischen Unternehmen, die sich von der Herstellung von Rohmaterialien (wie Kohlenstoffmaterialien) bis hin zur Rolle-zu-Rolle-Anlagentechnik erstreckt, ein großes Potenzial, hier rasch neue Märkte zu erschließen. Dabei ist das integrale Verständnis der wechselseitigen Abhängigkeiten von Materialperformance, Verarbeitungsprozess und Funktion des Akkus unerlässlich. Daher haben wir unsere Ausstattung sowohl im Bereich der Batteriezyklentests als auch in der Verarbeitungstechnik von Elektroden im letzten Jahr erheblich aufgestockt.

Redaktion: In den Medien wird über ganz unterschiedliche Batterietypen berichtet, wie z. B. Lithium-Ionen-Batterien oder Metallhydrid. Welche Batterie macht nach Ihrer Ansicht das Rennen?

Prof. Kaskel: Hier müssen wir als Forschungsdienstleister einen gesunden Mix verfolgen. Als zukunftsweisende Technologie hat die Lithium-Schwefel-Batterie sicher das größte

Potenzial. Andererseits werden Lithium-Ionen-Batterien noch über viele Jahre den Markt dominieren. Dabei ist in der Produktion, insbesondere von großformatigen Lithium-Ionen-Batterien, noch ein hohes Kosteneinsparpotenzial vorhanden. Das Feuchtemonitoring spielt hierbei auch eine große Rolle. Wir haben in diesem Bereich bereits eine Vielzahl automatisierter Systeme entwickelt. Ein Beispiel hierzu ist die geregelte Gefriertrocknung (siehe S. 82/83). Letztendlich erreicht man durch eine derartige Regelung, dass der Trocknungsprozess früher gestoppt werden kann. Das führt zu geringeren Energiekosten. Ähnliche Effekte sind sicherlich auch in der Herstellung von Batterien zu erzielen, wo Feuchte eine Ursache des Versagens darstellt.

Redaktion: Ein zentrales Problem, welches häufig bei der Euphorie bzgl. Elektromobilität übersehen wird, ist die Frage, woher der Strom eigentlich kommen soll? Zur Zeit wird der Strom hauptsächlich aus fossilen Quellen gewonnen.

Prof. Kaskel: Da stimme ich Ihnen zu. Eigentlich ergibt die Elektromobilität nur Sinn in Kombination mit regenerativ gewonnener Energie. Zwar wird man den Nachtstrom aus Wind und Wasser besser nutzen können, wenn alle Elektroautos nachts tanken, aber das löst das Problem nur bedingt. Neben der Photovoltaik muss in Zukunft auch stark die Solarthermie gefördert werden. Solarthermische Kraftwerke haben einen hohen Wirkungsgrad und in den letzten Jahren einen großen Fortschritt gemacht. Es ist jedoch illusorisch anzunehmen, zu hoffen, dass die CO₂-Emissionen allein aufgrund von unverbindlichen Willensbekundungen reduziert werden können. Ebenso wie bei den SO₂-Emissionen, welche in den siebziger Jahren für den sauren Regen und massives Waldsterben verantwortlich waren, wird man diese nur durch eine entsprechende restriktive Gesetzgebung in den Griff bekommen können.



KOMPETENZEN

PLASMA- UND REAKTIONSTECHNIK

Plasmagestützte Prozesse zur chemischen Gasphasenabscheidung bei Atmosphärendruck erlauben eine großflächige Abscheidung qualitativ hochwertiger Funktionsschichten ohne Einsatz kostenintensiver Vakuumanlagen. Damit sind kontinuierliche Beschichtungsprozesse mit hohen Raten auf temperaturempfindlichen Materialien sowie auf leicht gekrümmten Substraten unterschiedlicher Dicke realisierbar. Am Fraunhofer IWS werden Prototypen von Durchlaufreaktoren mit Gasschleusen zur Herstellung von oxidischen und nichtoxidischen Schichten sowie Gasphasenreaktoren für chemische und solarthermische Prozesse bei Normaldruck entwickelt. Die Optimierung des Reaktordesigns basiert auf experimentellen Ergebnissen und thermofluidodynamischen Simulationen. Das modulare Reaktordesign sorgt für eine kostengünstige Adaption des Prozesses an neue Anwendungsgebiete und Schichtmaterialien.

PROZESS-MONITORING

Die optimale Funktion von Industrieanlagen und die Qualität der gefertigten Produkte stehen oftmals im direkten Zusammenhang mit der sich in der Anlage befindenden Gasatmosphäre. Eine industrietaugliche Gasanalytik ist essentiell für die Qualitätssicherung von chemischen Beschichtungs-, Ätz- oder Sinterprozessen sowie für die Überwachung von Emissionen aus Industrieanlagen. Für kundenspezifische Lösungen zur kontinuierlichen Überwachung der chemischen Zusammensetzung und Konzentration von Gasgemischen nutzt das IWS Sensoren, die wahlweise auf der NIR-Diodenlaser- oder FTIR-Spektroskopie beruhen. Weiterhin werden Bauteiloberflächen und Schichtsysteme mit Methoden wie FTIR-Spektroskopie, Spektro-Ellipsometrie oder Raman-Mikroskopie charakterisiert.

CHEMISCHE OBERFLÄCHENTECHNOLOGIE

Den Oberflächeneigenschaften vieler Werkstoffe und Materialien kommt für deren Anwendung eine besondere Bedeutung zu. Durch funktionale Dünnschichten lassen sich Oberflächen beispielsweise mit leitfähigen, kratzfesten oder selbstreinigenden Eigenschaften ausstatten. Die Entwicklung nanostrukturierter Materialien mit definierter Oberflächenchemie ist die Voraussetzung, um die Performance von Doppelschichtkondensatoren und Batterien der nächsten Generation entscheidend zu verbessern. In der Arbeitsgruppe Chemische Oberflächentechnologie werden Gasphasen- (CVD) und Flüssigphasen-Verfahren entwickelt, mit denen sich großflächig Beschichtungen auf Basis neuer Materialien auftragen lassen. Schwerpunkte sind transparente, funktionale Dünnschichten, elektrische Energiespeicher und Superkondensatoren.

ABTEILUNGSLEITER

PROF. STEFAN KASKEL

Telefon +49 351 83391-3331
 stefan.kaskel@iws.fraunhofer.de



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2011

- | | |
|--|----|
| 1. Neuartiges Kompositmaterial für Lithium-Schwefel-Batterien | 78 |
| 2. Trockenätzen bei Atmosphärendruck - kostengünstig und klimaschonend | 80 |
| 3. Feuchtebasierte Regelung von Gefriertocknungsanlagen | 82 |
| 4. Elektrodenentwicklung für Batterien und Supercaps | 84 |
| 5. Anwendungspotenzial metallorganischer Gerüstverbindungen | 86 |

GRUPPENLEITER

PLASMA- UND REAKTIONSTECHNIK

DR. GERRIT MÄDER

Telefon +49 351 83391-3262
 gerrit.maeder@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

PROZESS-MONITORING

DR. WULF GRÄHLERT

Telefon +49 351 83391-3406
 wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de



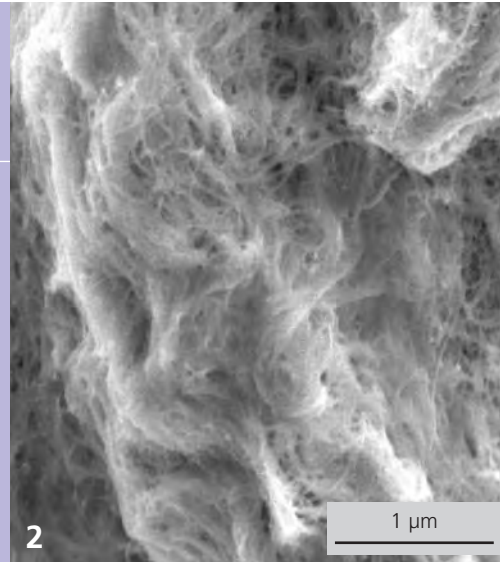
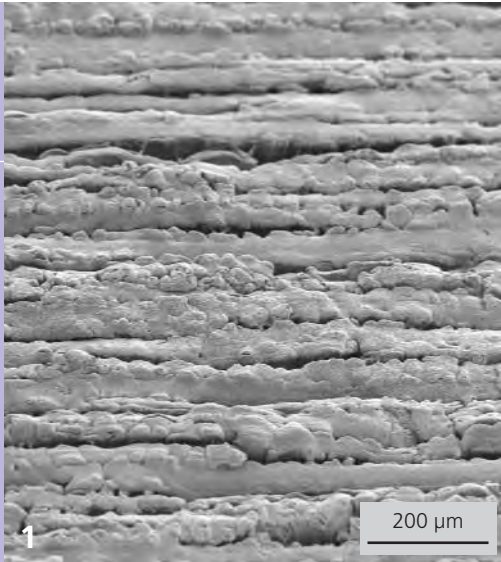
GRUPPENLEITER

CHEM. OBERFLÄCHENTECHNOLOGIE

DR. HOLGER ALTHUES

Telefon +49 351 83391-3476
 holger.althues@iws.fraunhofer.de





NEUARTIGES KOMPOSITMATERIAL FÜR LITHIUM-SCHWEFEL-BATTERIEN

DIE AUFGABE

Derzeitig eingesetzte Kathoden für Lithium-Ionen-Batterien bestehen aus Metalloxiden bzw. -phosphaten, deren Kapazität (150 - 200 mA h g⁻¹) die Energiedichte auf maximal 200 Wh kg⁻¹ limitiert.

Demgegenüber besitzen Schwefelkathoden bemerkenswerte Vorteile. Zum einen beträgt die theoretisch ermittelte Kapazität von elementarem Schwefel 1672 mA h g⁻¹, so dass Energiedichten größer als 350 Wh kg⁻¹ erreicht werden können. Zum anderen ist Schwefel ein preiswerter, ungiftiger und nicht limitierter Rohstoff. Da Schwefel jedoch eine geringe Leitfähigkeit besitzt (5 · 10⁻³⁰ S cm⁻¹), werden kohlenstoffbasierte Leitadditive eingesetzt, um die elektrochemische Ausnutzung des Schwefels zu erhöhen. So werden zur Zeit Ansätze verfolgt, bei denen Pasten, bestehend aus Schwefel, einem Polymerbinder, einem leitfähigen Kohlenstoffmaterial und einem Lösungsmittel für die Elektrodenfertigung eingesetzt werden. Diese Paste wird mittels Rakeltechnik auf einen Aluminium-Stromkollektor appliziert, getrocknet und kalandriert. Zwar ermöglichen diese Pastensysteme eine hohe Ausnutzung und Stabilisierung des Schwefels, jedoch wird die Energiedichte des gesamten Komposits durch den hohen Kohlenstoffgehalt (30 Gewt.-%) bzw. den Binderzusatz (5 - 10 Gewt.-%) reduziert.

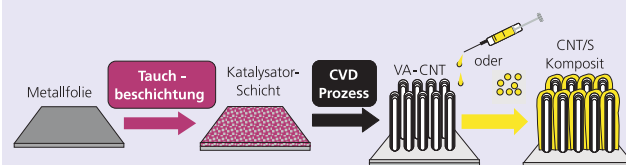
Eigenschaftsverbesserungen könnten durch Ersatz des Kohlenstoffs durch Kohlenstoffnanoröhren (CNT) erzielt werden. CNT eignen sich durch ihre hohe intrinsische Leitfähigkeit und ihre einzigartige Struktur hervorragend als Leitadditiv, da sie während des Lade-/Entladevorgangs ein beständiges Netzwerk für den Schwefel bilden. Neben der hohen Beständigkeit besitzen CNT-haltige Elektroden bisher einen gewissen

Binderanteil und andere Additive, so dass der Schwefelgehalt nur maximal 70 % beträgt, wodurch die elektrische Leitfähigkeit herabgesetzt wird. Die höchsten Werte für die Kapazität (bezogen auf die Elektroden-Gesamtmasse) liegen derzeit unterhalb 600 mA h g⁻¹. Die Erhöhung des Schwefelanteils in der Gesamtelektrode bei gleichzeitig hoher Ausnutzung ist eine der größten Herausforderungen um das Potenzial der Lithium-Schwefel-Batterien hinsichtlich der Energiedichte voll auszuschöpfen.

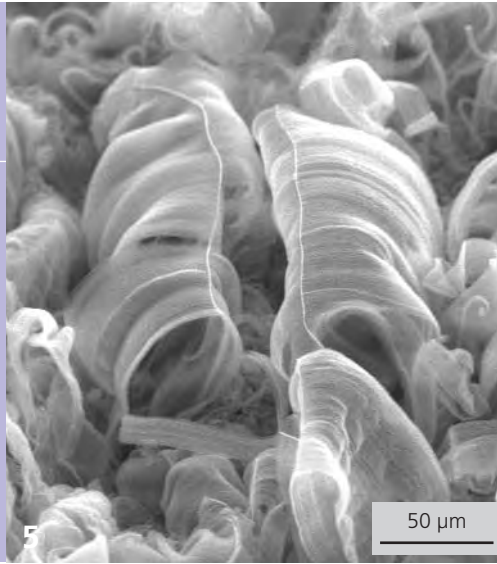
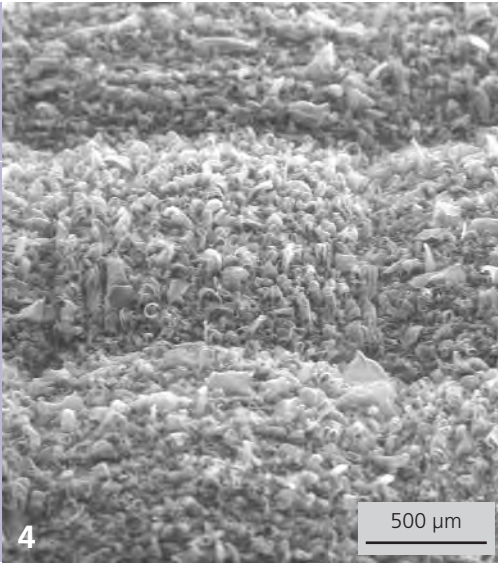
UNSERE LÖSUNG

Bei dem im IWS Dresden entwickelten Ansatz werden vertikal orientierte Kohlenstoffnanoröhren (VA-CNT) als leitfähige und binderfreie Matrix für die Kontaktierung des Schwefels eingesetzt. Im Gegensatz zu der pastenbasierten und binderhaltigen Elektrodenherstellung werden die Kohlenstoffnanoröhren mittels chemischer Gasphasenabscheidung (CVD) vertikal orientiert direkt auf ein leitfähiges Substrat (Nickel, Aluminium, Kohlefasergewebe) abgeschieden. Für die Herstellung von VA-CNT wird das Substrat durch eine nasschemische Tauchbeschichtung mit einem dünnen Katalysatorfilm versehen. In einem zweiten Schritt erfolgt die CNT-Synthese bei 650 - 730 °C mit Ethen als Kohlenstoffpräkursor. Der Schwefel wird anschließend entweder durch eine Lösung mit organischen Lösungsmitteln infiltriert oder direkt eingeschmolzen.

Schema zur Herstellung von binderfreien VA-CNT / Schwefel-Kompositelektroden



3

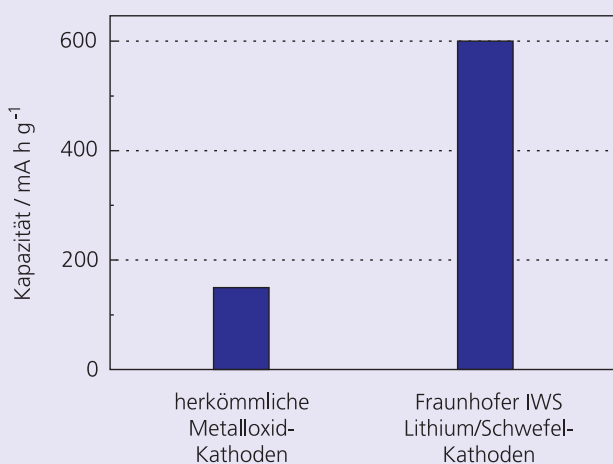


ERGEBNISSE

Die CNT-Schichten weisen je nach Substrat-Typ üblicherweise eine Dicke von 50 bis 200 µm und eine Dichte von 0,06 bis 0,13 g cm⁻³ auf. Die einzelnen CNTs sind überwiegend mehrwandig und besitzen Durchmesser von 4 bis 30 nm. Aufgrund der direkten Kontaktierung zwischen den CNT und dem Substrat besitzt das Material ein leitfähiges stabiles Netzwerk mit einer zugänglichen Porenstruktur, die durch die Zwischenräume der einzelnen CNT gebildet wird.

REM-Untersuchungen zeigen eine homogene Infiltration des Schwefels in die CNT-Schichten, wobei Kapillarkräfte ein Zusammenziehen der CNT-Schichten bewirken. Dabei werden Schwefelgehalte von bis zu 90 Gewt.-% erreicht, die stabile Entladekapazitäten von mindestens 600 mA h g⁻¹ bezogen auf die Elektroden Gesamtmasse ermöglichen (Abb. 6). Mit geringerem Schwefelgehalt (69 Gewt.-%) und ohne Elektrolytadditiv kann in den ersten Zyklen eine Entladekapazität zwischen 800 und 900 mA h g⁻¹ (bezogen auf die Elektroden Gesamtmasse) erzielt werden.

Entladekapazitäten (gemittelt über den 10. bis 20. Zyklus) von einer VA-CNT / Schwefel-Komposit auf Nickelfolie als Kathode im Vergleich zum Stand der Technik



6

Die flächenbezogene Entladekapazität wird noch deutlich erhöht, wenn statt einer Metallfolie ein dreidimensional strukturiertes Substrat z. B. ein Kohlenstoffgewebe für die Abscheidung der VA-CNT verwendet wird. Dabei erweist sich die nasschemische Katalysatorbeschichtung als besonders geeignet, da sie ein lückenloses CNT-Wachstum auf den gewobenen Kohlefasern ermöglicht. Weiterhin können freistehende Schwefel-Elektroden mit CNT als Leitadditiv und einem Polymerbinder hergestellt werden.

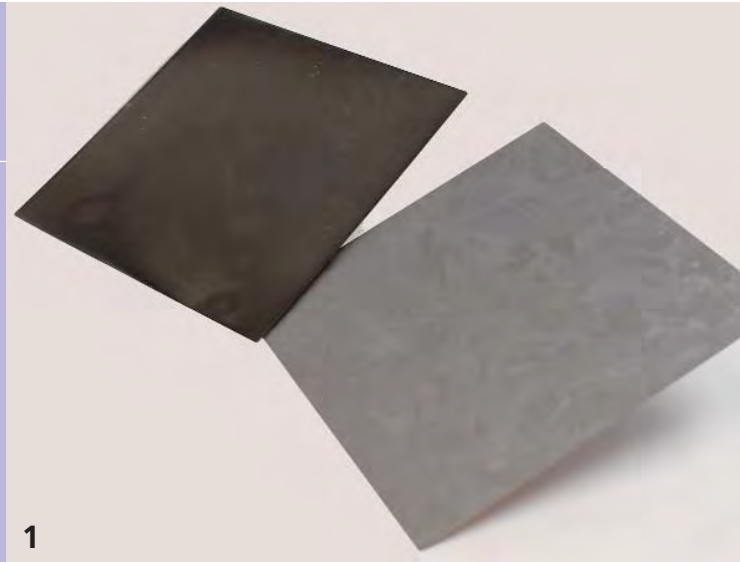
Die CNT-Schwefel-Kompositmaterialien werden zur Zeit in dem BMBF-Projekt AlkaSusi (Förderkennzeichen 03X4618A) zusammen mit dem Fraunhofer ICT und der CAU Kiel weiterentwickelt und in neuen Zellkonzepten getestet. Ziel der Forschungsarbeiten ist es, Zellen mit einer Energiedichte > 400 Wh kg⁻¹ herzustellen, was mehr als eine Verdopplung der Energiedichte herkömmlicher Li-Ionen-Batterien bedeuten würde.

- 1/2 VA-CNT / Schwefel-Komposit auf Nickelfolie
- 4/5 Kohlefasergewebe mit VA-CNT

KONTAKT

Dipl.-Chem. Susanne Dörfler
 Telefon: +49 351 83391-3182
 susanne.doerfler@iws.fraunhofer.de





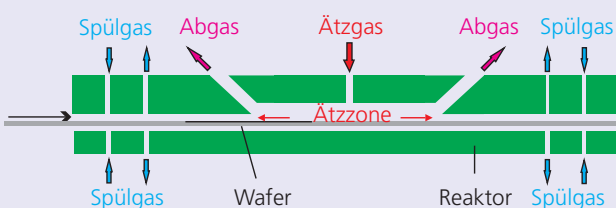
1

TROCKENÄTZEN BEI ATMOSPHÄRENDRUCK- KOSTENGÜNSTIG UND KLIMASCHONEND

DIE AUFGABE

Bei der industriellen Herstellung kristalliner Silizium-Solarzellen werden aktuell für die meisten Ätzschritte nasschemische Prozesse eingesetzt. Das Aufbringen der Antireflexions- und Passivierungsschicht erfolgt mittels plasmagestützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD) im Vakuum. Die Kombination unterschiedlichster Verfahren verursacht hohe Prozesskosten nicht zuletzt durch massiven Robotereinsatz für das Waferhandling. Ein kontinuierlicher Produktionsprozess mit einer geringen Anzahl von Handhabeschritten erfordert den Einsatz einer einheitlichen Technologie für möglichst viele Prozessschritte. Atmosphärendruck-Gasphasenprozesse sind aufgrund ihrer vielseitigen Anwendbarkeit, der kompakten Anlagengröße und der kontinuierlichen Arbeitsweise besonders für eine solche durchgängige Prozesskette geeignet. Die Aufgabe bestand deshalb in der Entwicklung eines wettbewerbsfähigen und umweltschonenden Trockenätzverfahrens für die Silizium-basierte Solarzellenherstellung auf Basis von Gasphasenprozessen bei Atmosphärendruck. Die Arbeiten wurden durch die Firma Nines Photovoltaics, Dublin, Irland unterstützt.

Funktionsprinzip der Atmosphärendruck-0-GWP-Gas-Trockenätz-anlage



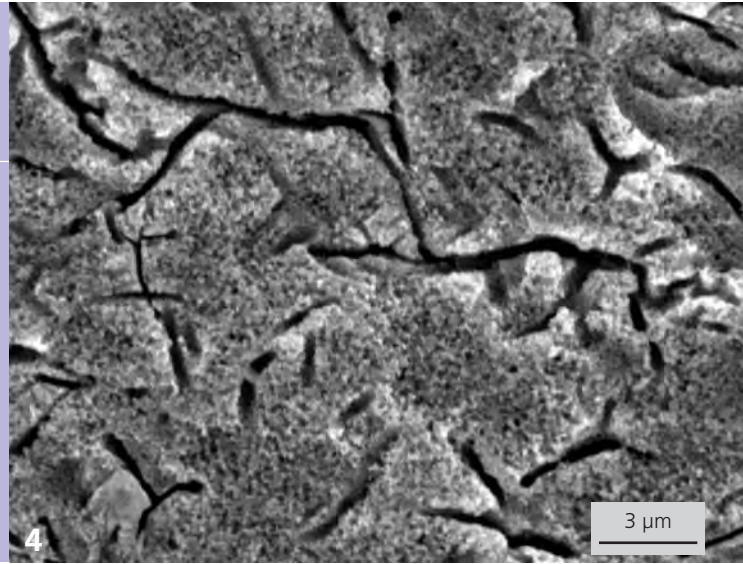
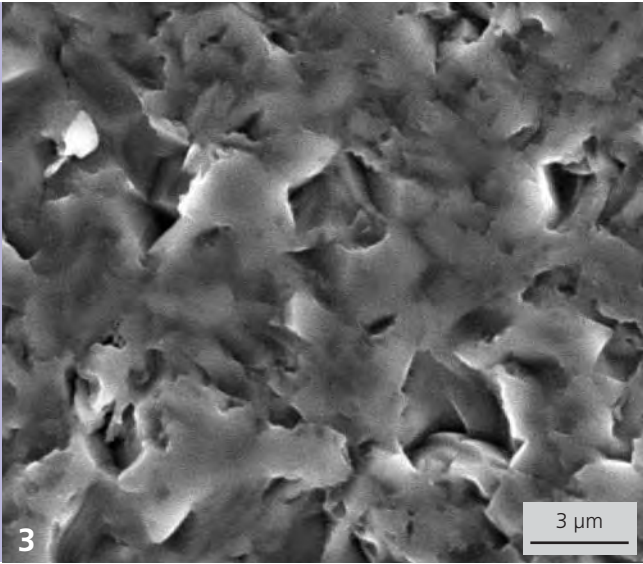
2

UNSERE LÖSUNG

Am IWS Dresden hat man sich die hohe Reaktivität fluorhaltiger Gase zunutze gemacht und eine Trockenätzanlage für Silizium-Solarwafer entwickelt. Sie basiert auf der thermischen Aktivierung eines nicht klimaschädigenden Ätzgases. Dieses spezielle Gas hat im Gegensatz zu den heute in der Photovoltaik eingesetzten fluorhaltigen Ätzgasen den großen Vorteil, dass es nicht zur globalen Erwärmung beiträgt (Global Warming Potenzial GWP = 0).

Bisher stand dem großtechnischen Einsatz von hochreaktiven Ätzgasen die stark begrenzte Lagermenge aufgrund der hohen Toxizität entgegen. Infolge der technischen Weiterentwicklung sogenannter On-Site-Generatoren besteht nun jedoch die Möglichkeit, hochreaktive nicht klimaschädigende Ätzgase durch elektrolytische Zersetzung von Säuren nach Bedarf («on demand») direkt an der Ätzanlage zu erzeugen.

Der Einsatz einer Plasmaquelle zum Erzeugen von Ätzradikalen ist somit nicht mehr nötig. An der erhitzten Waferoberfläche werden die Ätzradikale durch thermische Aktivierung gebildet und reagieren mit den Si-Atomen. Das beim Ätzprozess gebildete gasförmige Siliziumtetrafluorid (SiF_4) wird mittels eines konventionellen Wäschers kostengünstig entsorgt. Künftig soll daraus auch Silizium zurück gewonnen werden. Mit diesem Lösungsansatz werden die Vorteile eines preisgünstigen thermischen Ätzprozesses unter Atmosphärendruckbedingungen mit dem Einsatz eines klimaneutralen Ätzgases kombiniert. Das neu entwickelte Verfahren bietet auch bei der Fertigung künftiger Hochleistungszellen Vorteile im Vergleich zu nasschemischen Ätzverfahren. Im Wesentlichen sind hier die Möglichkeit einer Einseitenprozessierung sowie das Ätzen / Strukturieren von glatten Silizium-Wafern zu nennen.



ERGEBNISSE

Für das Trockenätzen von Siliziumsolarwafern wurde eine inliniefähige Demonstrationsanlage zur Prozessierung von 156 x 156 mm² Wafern aufgebaut und getestet. Bereits bei Verwendung von stark verdünntem Ätzgas wurden an der noch nicht optimierten Anlage dynamische Ätzraten von 0,38 $\mu\text{m m}^{-1}$ erreicht, wobei bereits 80 % des eingesetzten Gases für das Siliziumätzen genutzt wurden. Bei Einsatz stärker konzentrierter Precursoren sollten die Ätzraten deutlich steigen und die der herkömmlichen Ätzgase erreichen oder sogar deutlich überbieten. Durch die weitere Optimierung der Ätzanlage wird zudem eine deutliche Steigerung der Precursor-Ausnutzung erwartet. Die Verwendung von thermisch aktivierten klimaneutralen Ätzgasen für das Trockenätzen von Silizium führt somit zu ausreichend hohen Ätzraten bei gleichzeitig hohen Umsatzraten, um die Voraussetzung für eine industrielle Anwendung zu erfüllen.

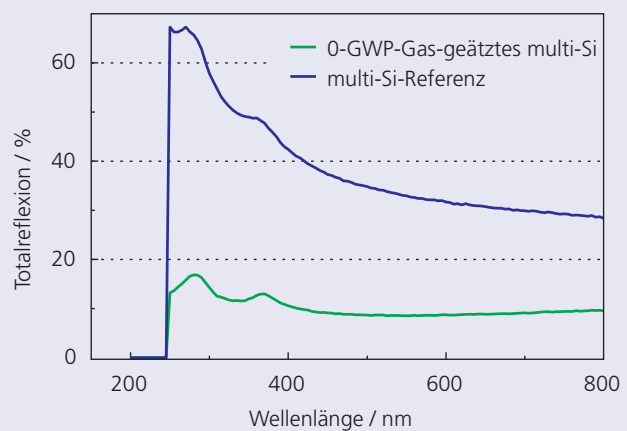
Vergleich verschiedener untersuchter Ätzgase und Ätzgas-mischungen bezüglich Silizium-Ätzrate, Gasumsatz und Treibhaus-potenzial

Ätzgas	Dynamische Silizium-Ätzrate $\mu\text{m m}^{-1}$	Umsatz %	Treibhaus-potenzial (GWP)
SF ₆	0,55	15	22800
SF ₆ + O ₂	1,74	80	22800
NF ₃	1,34	90	17200
NF ₃ + O ₂	1,38	99	17200
10 % 0-GWP-Gas in N ₂	0,38	80	0

5

Das neue klimaschonende Ätzgas kann auch zur Texturierung von Siliziumoberflächen angewendet werden. Eine texturierte Frontseite des Solar-wafers (Abb. 1) vermindert die Reflexion und ermöglicht damit eine stärkere Nutzung des auftreffenden Lichts und höhere Wirkungsgrade. Die stärkste Verminderung der diffusen Reflexion wurde für poröse Nanostrukturen erreicht (Abb. 6).

Vergleich der Totalreflexion multikristalliner Silizium-Wafer vor und nach dem Trockenätzen mit 0-GWP-Gas (2 % in N₂)



6

- 1 Multikristalline Silizium-wafer
grau: ungeätzte Referenz
schwarz: nach Trockenätzen mit 0-GWP-Gas
- 3/4 REM-Abbildung einer Oberfläche eines multikristallinen Siliziumwafers
links: ungeätzte Referenz
rechts: nach Trockenätzen mit 0-GWP-Gas

KONTAKT

Dr. Gerrit Mäder
Telefon: +49 351 83391-3262
gerrit.maeder@iws.fraunhofer.de





FEUCHTEBASIERTE REGELUNG VON GEFRIERTROCKNUNGSANLAGEN

DIE AUFGABE

Die pharmazeutische Produktion unterliegt strengen Forderungen an eine aseptische Produktion. Deshalb erfolgt sie in einer stark kontrollierten Umgebung im Reinraum. Eingriffe an produktberührenden Teilen sowie Änderungen an Trocknungsrezepten bedingen einer aufwendigen Zulassung oder Requalifizierung und müssen vermieden werden.

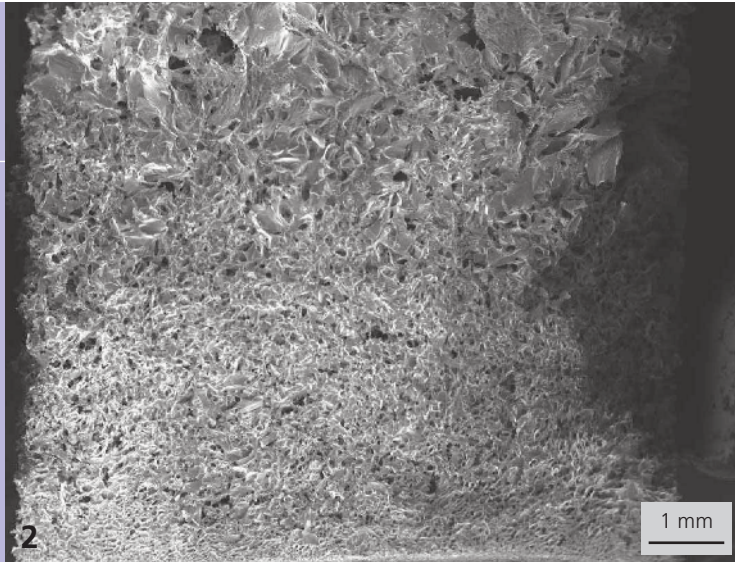
Ungeachtet dessen fordert die PAT-Initiative »Quality by Design« (2004), die Produktqualität bereits während der Produktion, zu gewährleisten und nicht erst, wie bisher üblich, durch nachgelagerte Probennahme. Dies bedenkt somit auch eine arbeitende Überwachung von Gefriertrocknungsprozessen. So wird es möglich, die in den Rezepten hinterlegten Sicherheitspuffer zu reduzieren, Abweichungen der Prozessparameter bzw. der Produktqualität zu erkennen und auszugleichen. Damit kann die Prozesszeit unter Gewährleistung einer gleichmäßig hohen Qualität signifikant verkürzt werden.

UNSERE LÖSUNG

Die charakteristische Größe für den Trocknungsprozess ist der Trocknungsgrad. Wenn man von Wasser ausgeht, welches bei mehr als 90 % der Produkte als Lösungsmittel verwendet wird, ist es die Restfeuchte. Da die Restfeuchte in der aseptischen Produktion im Vakuum sehr schwer zugänglich ist und Stichproben vom Randbereich nicht repräsentativ sind, wird diese anhand der Auswertung der Gaszusammensetzung über dem Produkt bestimmt. Diese Gaszusammensetzung ist eine integrale Größe, zu der alle Proben beitragen.

Mit Hilfe der Laserdiodenspektroskopie (LDS) ist es möglich, die geringen im Prozess auftretenden Wasserdampfpartialdrücke von 1 mbar bis $1 \cdot 10^{-3}$ mbar hochempfindlich und genau zu bestimmen. Wahlweise kann der Wasserdampfpartialdruck oder der Wassergehalt der Gasatmosphäre im Gefriertrockner bestimmt werden.

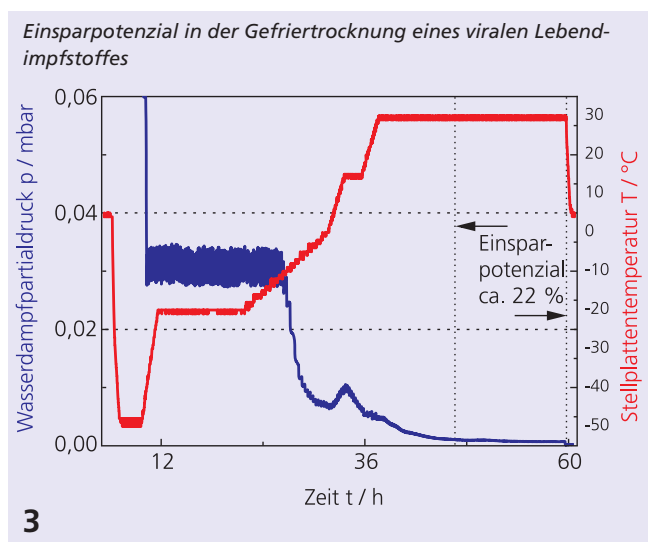
Die Sensorintegration kann durch ein bestehendes Schauglas oder durch angepasste Adapterflansche mit einem Reflektor erfolgen, so dass möglichst keine oder nur sehr wenige produktberührende Komponenten nachträglich zugelassen werden müssen. Die Adapterflansche wurden im Sinne der aseptischen Produktion so ausgelegt, dass die Anlage gut zu reinigen ist und keine Abschattungseffekte durch die Sensorintegration auftreten. Neben der Gaskonzentration kann der Trocknungsfortschritt anhand der abtransportierten Wassermenge bestimmt werden. Dazu wird die Laserlinie mit und entgegen der Strömungsrichtung gemessen. Aus der daraus berechneten Dopplerverschiebung lässt sich mit Hilfe der Wasserdampfkonzentration und dem Strömungsquerschnitt die Gasgeschwindigkeit und der Wassermassenfluss bzw. durch dessen Integration die abtransportierte Wassermenge berechnen. Mit der entwickelten Lösung sind Gasgeschwindigkeiten von $0,15 \text{ m s}^{-1}$ bis $> 500 \text{ m s}^{-1}$ erstmalig auch in sogenannten »integrierten Gefriertrocknungsanlagen« realisierbar.



ERGEBNISSE

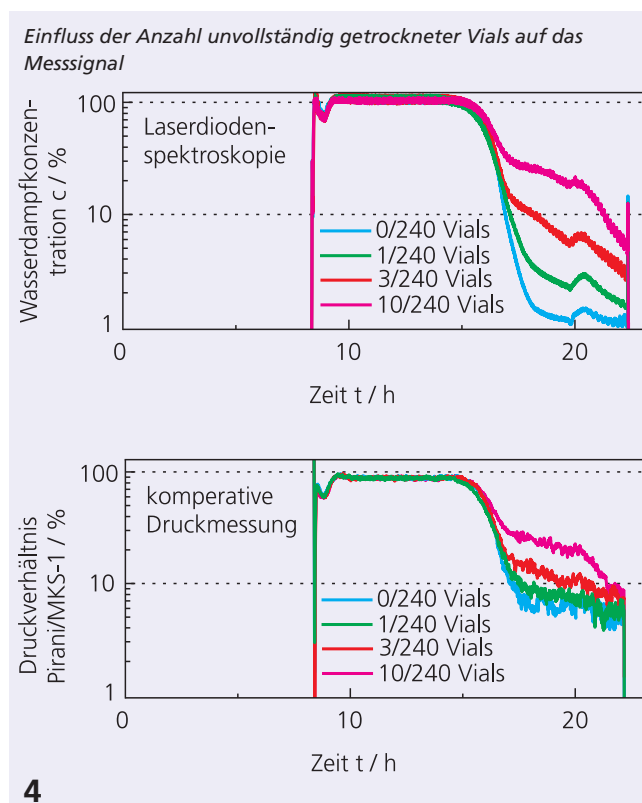
Anhand der Gaskonzentrationsmessung in Gefriertrocknungsanlagen können die Trocknungsendpunkte der Haupt- und Nachtrocknung zuverlässig bestimmt werden. Bei Erreichen des ersten bzw. zweiten Endpunktes erfolgt jetzt - im Gegensatz zum »starr« Rezept - eine automatische Weiterschaltung in den nächsten Prozessschritt. Die dafür entwickelte Prozesssteuerung basiert auf produkt- und beladungsunabhängigen Weiterschaltkriterien wie den Schwellwerten der Konzentration bzw. der Konzentrationsänderung.

Neben zahlreichen Versuchen an Laboranlagen wurde die Sensorik zur feuchtebasierten Prozessregelung auch an Produktionsanlagen in der pharmazeutischen Industrie erfolgreich evaluiert. Hier zeigt die implementierte Sensorik ein deutliches Einsparpotenzial von bis zu 20 % allein durch Reduzierung der Sicherheitsmargen (Abb. 3).



Darüber hinaus kann die Sensortechnologie auch bei der Erstellung neuer Konzepte und im »upscaling« von Laboranlagen auf Produktionsanlagen zu einer deutlichen Reduzierung der Versuche und somit zu einem wesentlich geringeren Verbrauch an Testsubstanzen führen. Die entwickelte Lösung ist robust, justagestabil, dampfsterilisierbar und zeigt gegenüber

alternativen Methoden, wie z. B. der komparativen Druckmessung, eine deutlich höhere Empfindlichkeit. Unter 240 Vials (maximale Beladung der Laboranlage) lässt sich bereits ein Vial mit einem unvollständig getrockneten Produkt sicher erkennen (Abb. 4).

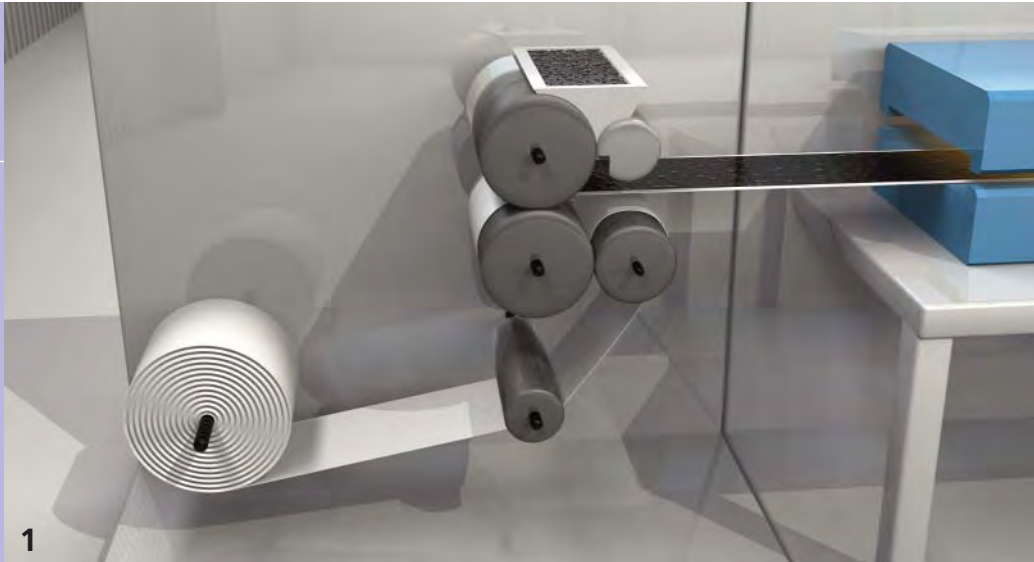


- 1 Vials mit pharmazeutischem Produkt
- 2 REM-Abbildung eines gefriergetrockneten Impfstoffes

KONTAKT

Dipl.-Ing. Harald Beese
 Telefon: +49 351 83391-3356
 harald.beese@iws.fraunhofer.de





ELEKTRODENENTWICKLUNG FÜR BATTERIEN UND SUPERCAPS

DIE AUFGABE

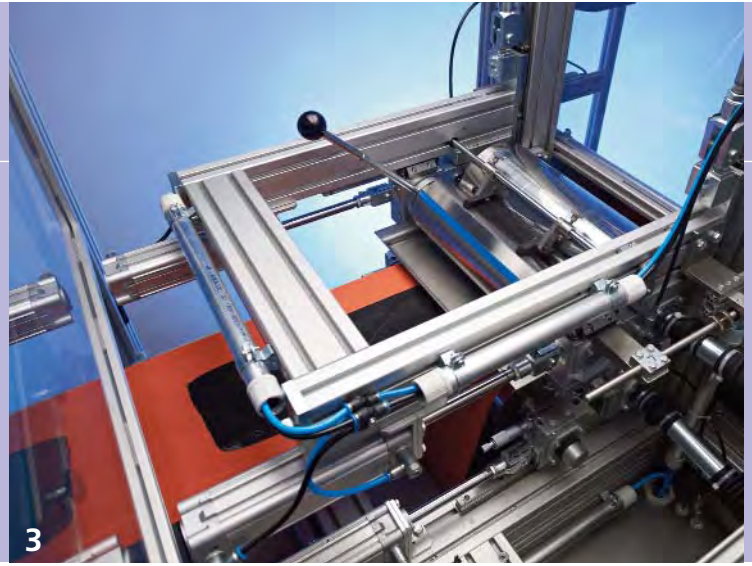
Die Elektrode ist das Herzstück einer Batterie bzw. eines Supercaps. Ihre Zusammensetzung und ihre Struktur bestimmen maßgeblich die Lebensdauer und die Leistungsfähigkeit des elektrischen Energiespeichers. An die Elektrodenfertigung, von der Materialauswahl bis zum Konfektionieren, werden daher höchste Ansprüche gestellt. Neben den Eigenschaften wird in diesen Prozessschritten auch der Preis des resultierenden Bauteils definiert. Teure Ausgangsmaterialien und aufwendige Verfahrensschritte enthalten den größten Teil der Wertschöpfung bei der Herstellung von Batterien und Supercaps. Um die Gesamtkosten bei der Elektrodenfertigung zu senken, müssen vor allem Maßnahmen zur Kostenreduktion ergriffen werden. Ein Kostentreiber ist bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien der Schichtauftrag aus organischen Lösungsmitteln (in der Regel: *N*-Methylpyrrolidon (NMP)). Diese müssen in aufwendigen Trocknungsschritten entfernt und wieder aufbereitet werden. Zudem stellt die Verwendung von organischen Lösungsmitteln ein Sicherheitsrisiko für Mitarbeiter und Umwelt dar.

Da die Anforderungen an die Elektroden sehr hoch sind, ist eine Umstellung auf einen alternativen Prozess mit sehr großem Entwicklungsaufwand verbunden. Jede Prozessoptimierung muss mit zeitaufwendigen, elektrochemischen Untersuchungen am Produkt unterlegt werden. Die Entwicklung von Verfahren zur Elektrodenfertigung ohne den Einsatz organischer Lösungsmittel ist somit eine der großen Herausforderungen für die Kostenreduzierung bei der Batterie- bzw. Supercapherstellung.

UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer IWS wurden Lösungen zur Kosteneinsparung bei der Fertigung von Batterie- und Supercap-Elektroden entwickelt. Im Rahmen des BMBF-Projektes DeLIZ (FKZ: 02PO2640) wurde an der wässrigen Prozessierung von Anoden und Kathoden für Lithium-Ionen-Zellen gearbeitet. Graphit-Anoden und Lithiumeisenphosphat-Kathoden wurden mit wasserbasierten Bindern und geeigneten Additiven über Rakelverfahren auf Metallfolien (Stromkollektoren) aufgetragen. Mit geeigneten Rezepturen wurde dann der Beschichtungsprozess auf eine Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsanlage übertragen. Mittels Kalanders wurden die Schichten verdichtet und geglättet.

Durch einen Nach Trocknungsschritt wurde die Restfeuchte entfernt. Anschließend wurden die Elektroden für die elektrochemische Charakterisierung in Testzellen überführt. Die Ergebnisse sind äußerst vielversprechend: Auch die empfindlichen Kathodenmaterialien zeigen ihr volles Leistungsvermögen nach der wässrigen Prozessierung. Kapazitäten bis 140 mA h g^{-1} (bei 0,2 C Laderate) und 50 mA h g^{-1} (bei 16 C Laderate) zeugen von einer guten Anbindung und keinen Schädigungen des Aktivmaterials durch den Beschichtungsprozess. Untersuchungen zur Zyklusstabilität von Vollzellen sind in der Vorbereitung.



ERGEBNISSE

Am Fraunhofer IWS stehen Anlagentechnik und Know-how zur Elektrodenentwicklung im Bereich elektrischer Energiespeicher zur Verfügung. Auf folgendes Equipment kann dabei zurückgegriffen werden:

- Rolle-zu-Rolle-Beschichtung auf Folien mit Auftrag über Rollraket
- 3 m Trocknerstrecke und alternative Trocknungsmöglichkeit
- Verdichten und Glätten durch Kalandrieren (250 kN) auf einer Breite von max. 280 mm.

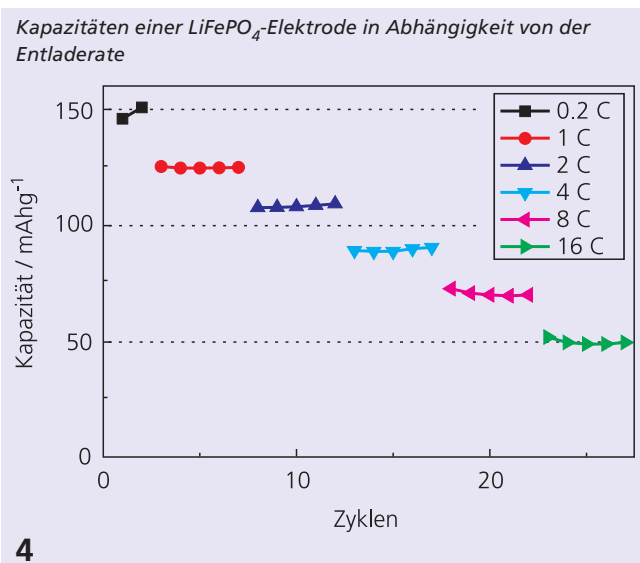
Für die elektrochemische Charakterisierung von Batterie- und Supercap-Elektroden stehen verschiedene Testgeräte zur Verfügung.

- Temperaturprüfschrank
- 2-Kanal-Batterietester (große Zellen)
- 4-Kanal-Potentiostat
- 32-Kanal-Batterietester (Testzellen)

Unsere Leistungen umfassen:

- Evaluierung von Aktiv- und Beschichtungsmaterialien sowie Komponenten für die Eignung in Batterie- und Supercap-Elektroden inkl. elektrochemischer Charakterisierung
- Bereitstellung von Elektroden und Musterbeschichtungen (Li-Ionen, Supercap) für Testzwecke
- Prozessentwicklung für die Elektrodenfertigung auf Basis neuer Materialien

Im Rahmen des DryLIZ-Projektes (Förderkennzeichen 02PJ2302) werden die Arbeiten zur Entwicklung neuer Elektrodenwerkstoffe fortgesetzt. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der wässrigen und trockenen Prozessierung von Anoden und Kathoden für Lithium-Ionen-Zellen und deren Weiterverarbeitung durch Trennen und Fügen.



- 1 Schema Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsprozess
- 2 Beschichtete Folie
- 3 Beschichtungsanlage am IWS

KONTAKT

Dr. Holger Althues
 Telefon: +49 351 83391-3476
 holger.althues@iws.fraunhofer.de



ANWENDUNGSPOTENZIAL METALL- ORGANISCHER GERÜSTVERBINDUNGEN

DIE AUFGABE

Adsorptionsvorgänge, d. h. die Anreicherung eines Stoffes an der Oberfläche eines Materials, spielen eine wichtige Rolle in einer Vielzahl industrieller Verfahren (z. B. in Gasreinigungs- und Trennprozessen). Die dabei eingesetzten porösen Materialien, wie z. B. Aktivkohlen oder Zeolithe, zeichnen sich in der Regel durch hohe innere Oberflächen aus, an welchen die Adsorptionsvorgänge stattfinden.

Metallorganische Gerüstverbindungen (metal-organic frameworks, MOF) sind eine neue Klasse poröser Materialien mit vielversprechenden Adsorptionseigenschaften. Sie bestehen aus anorganischen Knotenpunkten, welche über organische Liganden miteinander verknüpft sind. Die aus diesem »Baukastenprinzip« resultierenden nahezu unbegrenzten Kombinationsmöglichkeiten erlauben das Maßschneidern von MOF für die jeweilige Adsorptionsaufgabe. Durch gezielte Auswahl von funktionellen Knoten- und Ligandsystemen ergeben sich außergewöhnliche Adsorptionseigenschaften, welche denen von herkömmlichen Adsorbentien z. T. deutlich überlegen sind. Die Überführung dieser neuartigen Materialien in industrielle Anwendungen und Produkte bewirkt maßgeschneiderte Lösungen für zahlreiche Adsorptionsprozesse.



UNSERE LÖSUNG

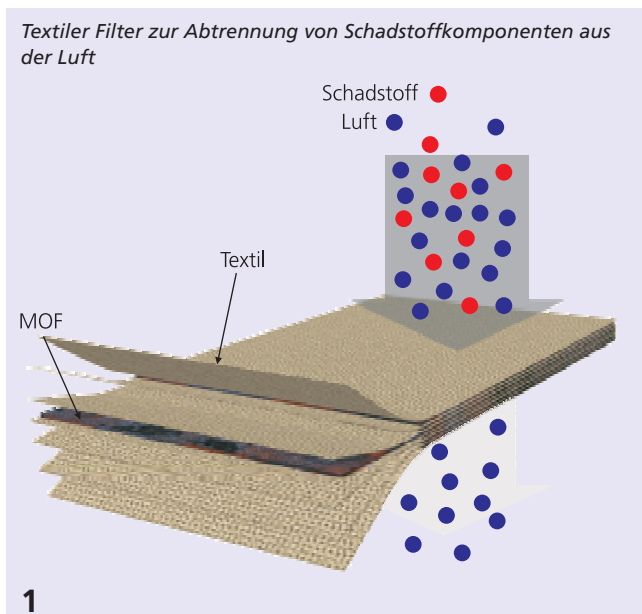
Im Rahmen des europäischen Projektes »nanoMOF« haben sich Wissenschaftler aus 9 Forschungseinrichtungen sowie 8 Industrieunternehmen aus 10 Ländern zusammengeschlossen, um den Brückenschlag von der Forschung zur industriellen Anwendungen der MOF maßgeblich zu forcieren. Dabei stehen potenzielle Anwendungen im Bereich der Gasreinigung, der Gasspeicherung und der Katalyse im Mittelpunkt der Arbeiten.

Das Projekt nanoMOF wird innerhalb des siebten Rahmenprogramms der europäischen Kommission gefördert (Förderkennzeichen CP-IP 228604-2). Projektpartner sind:

- Fraunhofer IWS, Deutschland
- Johnson Matthey PLC, Großbritannien
- Katholieke Universiteit Leuven, Belgien
- Universidad de Granada, Spanien
- Technische Universität Dresden, Deutschland
- Stiftelsen SINTEF, Norwegen
- Università di Torino, Italien
- Centre National de la recherche scientifique Lyon, Frankreich
- Ouvry SAS, Frankreich
- Norafin Industries GmbH, Deutschland
- Oleon NV, Belgien
- Ben-Gurion University of the Negev, Israel
- Innovatext Textile Engineering and Testing Institut Co, Ungarn
- Società Italiana Acetilene e Derivati S.p.A, Italien
- TDL Sensors Ltd, Großbritannien
- Blücher GmbH, Deutschland
- Hollomet GmbH, Deutschland

MOF ZUR GASREINIGUNG

MOF zeigen signifikant höhere Leistungen bei der Reinigung von Gasen im Vergleich zu herkömmlichen Adsorbentien. Im Rahmen des Projektes werden diesbezüglich MOF für die adsorptive Entschwefelung von Gasen beim Betrieb von Brennstoffzellen sowie als Filterkomponente in Atemmasken für den Schutz ziviler Einsatzkräfte erprobt.

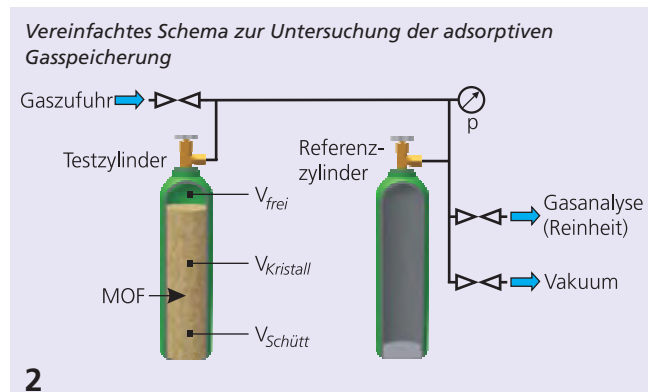


MOF ALS KATALYSATOR

MOF können in der Oleochemie als heterogener Katalysator zur selektiven Veresterung von Fettsäuren zu Monoglyceriden angewendet werden. Damit kann eine aufwändige Abtrennung unerwünschter Nebenprodukte entfallen, wodurch sich deutliche Vorteile in der Energie- und Ökobilanz des Prozesses ableiten.

MOF ZUR GASSPEICHERUNG

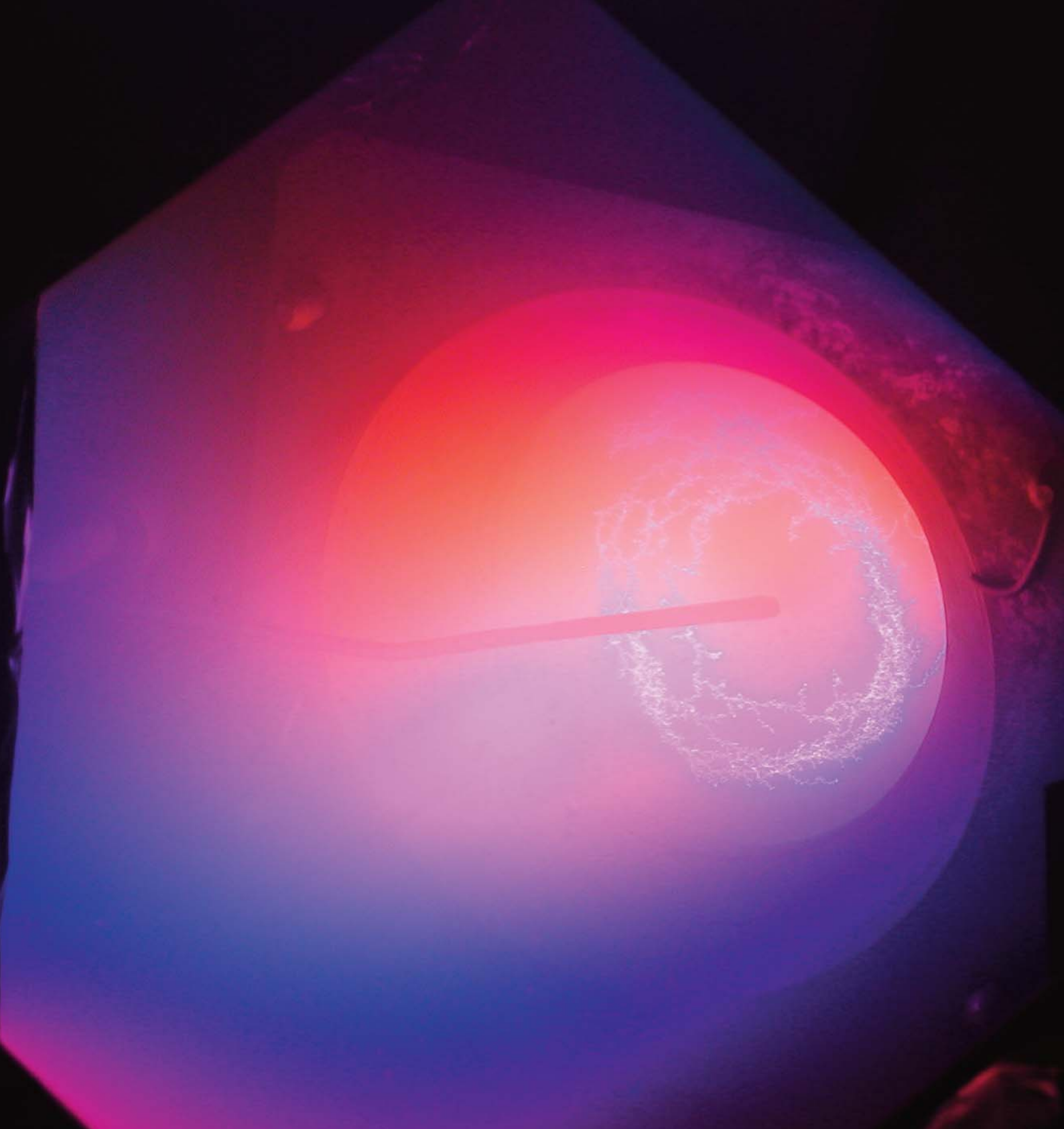
Die adsorptive Speicherung von Gasen kann bei wesentlich geringeren Drücken im Vergleich zu einer normalen Druckgasflasche erfolgen, ohne jedoch die Speichermenge zu reduzieren. Folglich ist die adsorptive Niederdruckspeicherung ein zusätzliches Plus an Sicherheit im Umgang mit toxischen Gasen.



KONTAKT

Dr. Wulf Grählert
 Telefon: +49 351 83391-3406
wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de





Der größte Feind der Kreativität ist nicht der Irrtum sondern die Trägheit.

Henry T. Buckle



GESCHÄFTSFELD PVD-VAKUUM-SCHICHTTECHNOLOGIE

Redaktion: Beschichtungen finden zunehmende Anwendungen sowohl bei Werkzeugen wie auch bei Komponenten und Bauteilen. Vielfach werden hierfür amorphe Kohlenstoffschichten, sogenannte DLC-Schichten, eingesetzt. In Ihrer Abteilung konzentriert sich die Entwicklung vor allem auf wasserstofffreie Kohlenstoffschichten und ihre Anwendungen sowie auf die dazugehörige Abscheidetechnologie. Welche Vorteile versprechen Sie sich davon?

Prof. Leson: In der Tat bieten wasserstofffreie Kohlenstoffschichten eine Reihe von Vorteilen gegenüber klassischen DLC-Beschichtungen. So ist die Härte unserer Diamor®-Schichten nochmals deutlich höher. Zudem haben diese Schichten ein großes Potenzial zur Reibungsminimierung, was diese insbesondere für einen Einsatz im Automobilbau interessant macht. Mit unserem Laser-Arc-Verfahren haben wir zudem ein produktives Verfahren zur Herstellung dieser Schichten entwickelt, mit dem sich glatte, superharte Kohlenstoffschichten abscheiden lassen. Momentan arbeiten wir mit einer Reihe von Firmen zusammen, um unsere Diamor®-Schichten in verschiedene industrielle Anwendungen zu überführen.

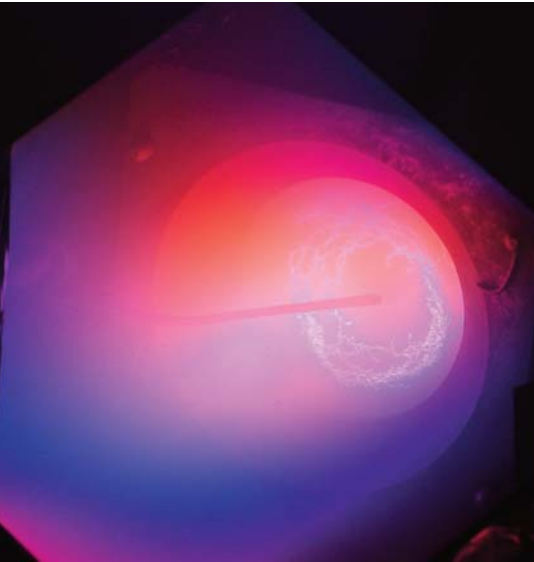
Redaktion: Die Herstellung hochpräziser Multischichten ist seit langem ein wichtiges Thema innerhalb Ihrer Abteilung. Lässt sich hierzu über neue Entwicklungen berichten?

Prof. Leson: In den letzten Jahren haben wir viel Kompetenz beim Einsatz der Ionenstrahltechnik aufgebaut. Wir nutzen diese sowohl für die hochpräzise Beschichtung als auch für den Abtrag und die Politur von Substraten und können dadurch eine ganz neue Qualität bei Röntgenoptiken erzielen.

Momentan sind wir dabei, wesentliche Technologieelemente an unsere Ausgründung, die AXO GmbH Dresden, zu überführen.

Redaktion: In Ihrer Abteilung beherrscht man seit einigen Jahren die Herstellung größerer Mengen von einwandigen Carbon Nanotubes. Zeichnen sich für diese hochinteressanten Materialien bereits Anwendungen ab, die die einzigartigen Eigenschaften dieser Materialien ausnutzen?

Prof. Leson: Nachdem wir uns zunächst um die Aufskalierung des Herstellungsprozesses bemüht haben, stehen nun die Anwendungen einwandiger Carbon Nanotubes im Fokus. So haben wir zeigen können, dass sich mit unseren qualitativ hochwertigen einwandigen Carbon Nanotubes flexible, transparente Elektroden herstellen lassen, die exzellente elektrische Eigenschaften aufweisen. Auch konnten wir im vergangenen Jahr erstmals ein aktorisches Element auf der Basis eines dielektrischen Elastomers herstellen, das seine funktionellen Eigenschaften durch die eindispersierten Nanotubes erhält. Damit haben wir die Basis für die Entwicklung preiswerter Aktoren auf Polymerbasis gelegt. Hier erhoffen wir uns eine Vielzahl von neuen Anwendungen, die wir in den nächsten Jahren erschließen wollen.



KOMPETENZEN

RÖNTGEN- UND EUV-OPTIK

Zur Abscheidung von Nanometer-Einzel- und Multischichten für EUV- und Röntgenoptiken setzen wir die Verfahren der Magnetron- und Ionenstrahl-Sputter-Deposition sowie der Puls-Laser-Deposition ein. Die Schichtsysteme genügen höchsten Ansprüchen hinsichtlich Schichtdickengenauigkeit, Rauheit, chemischer Reinheit, lateraler Homogenität und Reproduzierbarkeit. Genutzt werden diese Schichtsysteme in Röntgenoptiken und röntgenoptischen Systemen sowie als reaktive Multischichten zum hochpräzisen Fügen. Neben der Entwicklung und Herstellung von Präzisionsschichten bieten wir langjährige Erfahrungen auf den Gebieten der Charakterisierung und Modellierung von Nanometerschichten an.

NANOTUBES UND -PARTIKEL

Am Fraunhofer IWS entwickelte Verfahren zur Synthese einwandiger Carbon Nanotubes und nichtoxidischer Core-Shell-Nanopartikel können technisch relevante Mengen dieser Materialien mit besonderen Eigenschaften herstellen. Beide Materialklassen bewirken in Verbunden schon bei sehr geringen Anteilen völlig neue Funktionalitäten des Matrixmaterials und werden von uns in verschiedenen Qualitäten und Verarbeitungsstadien angeboten. Verbundentwicklungen können durch Modellierungen und umfangreiche Verbundcharakterisierungen begleitet werden.

KOHLENSTOFFSCHICHTEN

Die vom Fraunhofer IWS entwickelten amorphen Kohlenstoffschichten (Diamor®) eignen sich hervorragend als Schutzschichten und können mit sehr guter Haftung in einem weiten Schichtdickenbereich abgeschieden werden. Die Abscheidung erfolgt bei niedrigen Temperaturen im Vakuum mit speziell entwickelten Puls-Bogen-Verfahren. Für die industrielle Einführung der Diamor®-Schichten liefert das IWS zusammen mit Partner-Unternehmen neben der Technologie auch die erforderlichen Beschichtungsquellen und -anlagen sowie die laserakustische Prüftechnik LAwave® zur Qualitätssicherung und Schichtoptimierung.

PVD-SCHICHTEN

Verfahren der physikalischen Dampfphasenabscheidung (PVD = Physical Vapor Deposition) erlauben die Abscheidung hochwertiger tribologischer und funktioneller Schichten im Dickenbereich von wenigen Nanometern bis zu einigen zehn Mikrometern. Dazu stehen im IWS Verfahren von der Hochrate-Bedampfung bis hin zu hochaktivierten Plasmaverfahren sowie deren Kombinationen zur Verfügung. Einen besonderen Schwerpunkt bildet die umfassende Nutzung von Bogenentladungen als effizienteste Quelle energiereicher Dampfstrahlen.

ABTEILUNGSLEITER

PROF. ANDREAS LESON

Telefon +49 351 83391-3317
andreas.leson@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

RÖNTGEN- UND EUV-OPTIK

DR. STEFAN BRAUN

Telefon +49 351 83391-3432
stefan.braun@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

NANOTUBES UND -PARTIKEL

DR. OLIVER JOST

Telefon +49 351 83391-3477
oliver.jost@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

KOHLENSTOFFSCHICHTEN

DR. VOLKER WEIHNACHT

Telefon +49 351 83391-3247
volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

PVD-SCHICHTEN

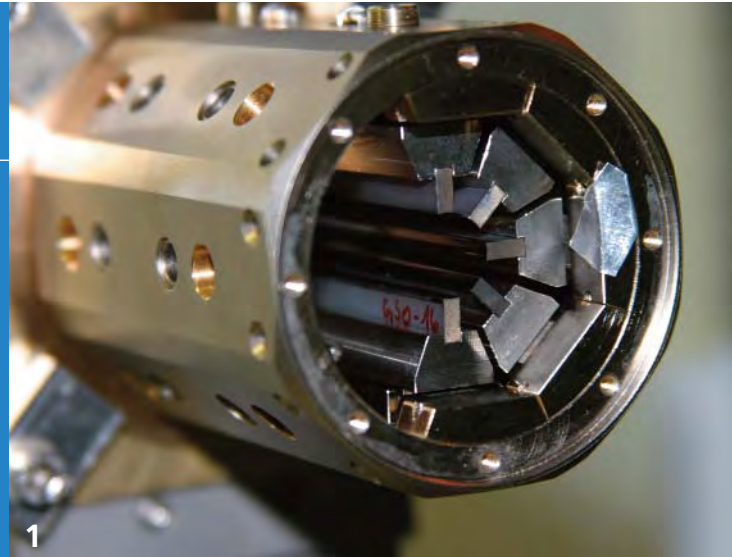
DR. OTMAR ZIMMER

Telefon +49 351 83391-3257
otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2011

- | | |
|---|-----|
| 1. Hochleistungs-Röntgenoptiken für die Spektroskopie | 92 |
| 2. Reaktive Nanometer-Multischichten sind maßgeschneiderte Wärmequellen | 94 |
| 3. Reinigung von Kohlenstoff-Nanoröhrenschichten | 96 |
| 4. Extrem niedrige Reibung mit neuen Kohlenstoff-Schichten | 98 |
| 5. Hartstoffschichten für extrem belastete Oberflächen | 100 |
| 6. Mit Diamor® bohrt es sich besser | 102 |



HOCHLEISTUNGS-RÖNTGENOPTIKEN FÜR DIE SPEKTROSKOPIE

DIE AUFGABE

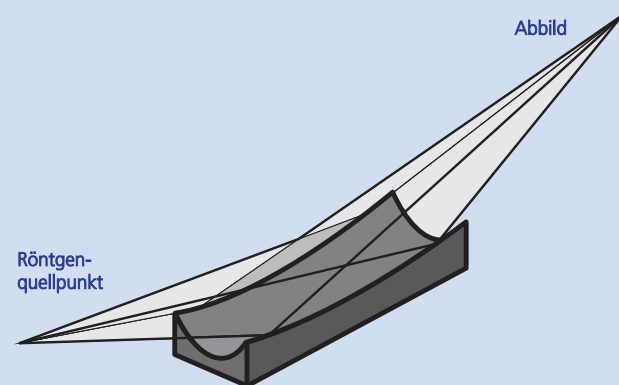
Abbildungsqualität und Effizienz von Röntgenoptiken werden maßgeblich von der Art und den Eigenschaften der eingesetzten Komponenten bestimmt. Im Wellenlängenbereich $\lambda \approx 0,01 \dots 1$ nm können zur Strahlformung im Allgemeinen nur reflektierende Spiegel oder beugende Strukturen (wie z. B. Einkristalle, Gitter, Zonenplatten) genutzt werden. Die Bandbreiten der erlaubten Einfallswinkel bzw. Photonenenergien sind dabei relativ schmal, wodurch die Transparenz der eingesetzten Systeme limitiert wird. Abbildende oder spektroskopische Anwendungen in diesem Wellenlängenbereich sind daher stets durch einen Kompromiss zwischen Durchsatz (Transparenz) und lateralem oder energetischem Auflösungsvermögen gekennzeichnet. Zur Verbesserung von Empfindlichkeiten (Nachweisgrenzen) und Abbildungsqualitäten werden innovative Optiksyste me gebraucht, die beispielsweise durch eine Erhöhung der Eintrittsapertur eine effektivere Ausnutzung der Quellstrahlung gewährleisten können.

UNSERE LÖSUNG

Der Einsatz von reflektierenden Multischichten auf 2-dimensional gekrümmten Spiegeloberflächen bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber herkömmlichen, ebenen oder 1d-gekrümmten Röntgenoptiken. Zum einen gewährleistet die Multischicht eine im Vergleich zu Kristallen oder Gittern höhere Akzeptanz an energetischer Bandbreite, respektive Divergenz des Eintrittswinkels, andererseits können größere Reflexionswinkel als beispielsweise bei Totalreflexionsspiegeln realisiert werden, was höhere Aperturen und damit bessere Strahlausbeuten sichert. Bei Verwendung von 2-dimensional gekrümmten Spiegeln kann zudem die Fokussierung des

Röntgenstrahls mit nur einer Reflexion erfolgen, womit eine Verbesserung der Transparenz des optischen Systems erreicht wird.

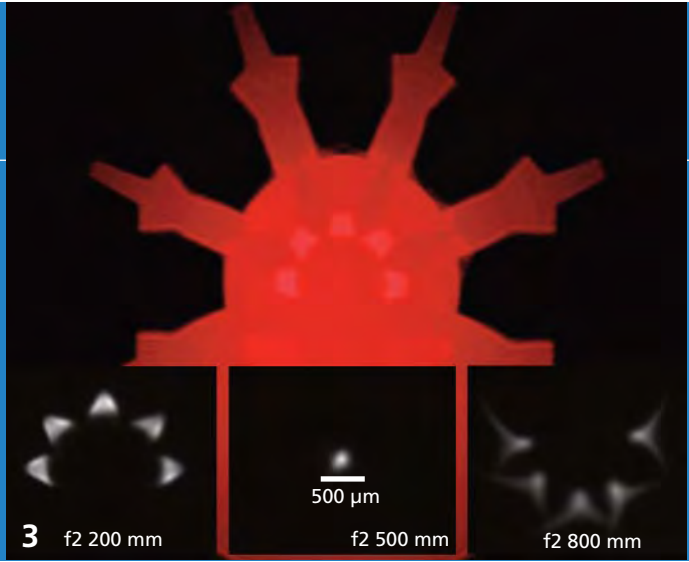
Prinzipiskizze einer 2-dimensional fokussierenden Röntgenoptik



2

Die Herstellung von 2-dimensional gekrümmten Röntgenoptiken war wegen der extremen Anforderungen an Oberflächenrauheit ($\sigma_{\text{rms}} \approx 0,1$ nm) und Schichtdickenpräzision bisher kaum oder nur ansatzweise möglich. Die Ionenstrahltechnik hat sich als unverzichtbares Werkzeug bei der Bearbeitung der optischen Oberflächen herausgestellt. Eingesetzt wird der Ionenstrahl beim formgebenden Abtrag (Konturierung), zur Oberflächenpolitur und -reinigung und zur ionen-gestützten Beschichtung.

Mit der am Fraunhofer IWS verfügbaren Ionenstrahlanlage »IonSys 1600« werden alle oben genannten Bearbeitungsschritte der Prozesskette in einer Anlage und wenn nötig ohne Zwischenbelüftung und der damit verbundenen unerwünschten Oberflächenveränderung durchgeführt. Aufgrund des auf linearen Ionenquellen beruhenden Anlagenkonzeptes können großflächige Substrate bis zu 500×200 mm²

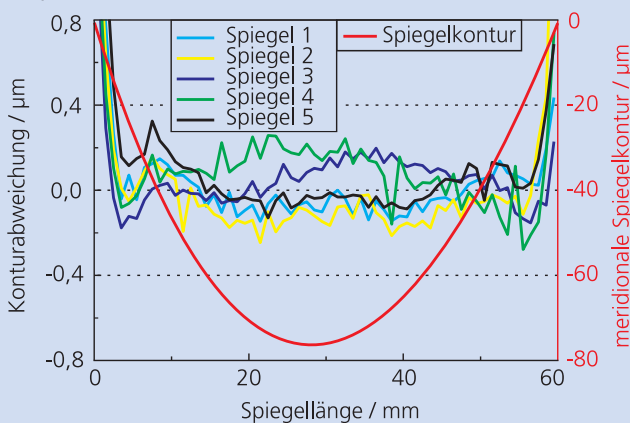


optischer Fläche oder auch mehrere kleinere Substrate gleichzeitig homogen und reproduzierbar bearbeitet und beschichtet werden.

ERGEBNISSE

Für die Abbildung von Röntgenstrahlung einer mittels Ultrakurzpulslaser betriebenen Plasmaquelle in einer Experimentierkammer für Hochenergie-Elektronenspektroskopie (HEES) wurde ein aus fünf um die optische Achse angeordneten Einzelspiegeln bestehendes Optiksysteem entwickelt (Abb. 1). Die Oberfläche jedes Spiegels besitzt dabei die Form eines elliptisch gebogenen Torus und fokussiert den Quellfleck ($\varnothing \approx 10 \dots 20 \mu\text{m}$) in die 600 mm entfernte Bildebene. Die Besonderheit der 2d-gekrümmten Oberflächen liegt dabei im relativ kleinen Sagittalradius ($r \approx 4 \dots 6 \text{ mm}$) bei Spiegelabmessungen von $60 \times 2 \text{ mm}^2$.

Abweichung der mittels Ionenstrahlabtrag konturierten 2d-gebogenen Röntgenoptiken (5 Einzeloptiken) von der elliptischen Zielkontur (rot)



4

Mittels Ionenabtrag wurden zylindrische Ausgangssubstrate elliptisch konturiert und poliert (Abtrag dabei ca. $80 \mu\text{m}$) und anschließend mit einer reflektierenden Multischicht versehen ($150 \times [\text{Ni}/\text{B}_4\text{C}]$; $d_p = 2,5 \dots 3,2 \text{ nm}$; lateral gradiert).

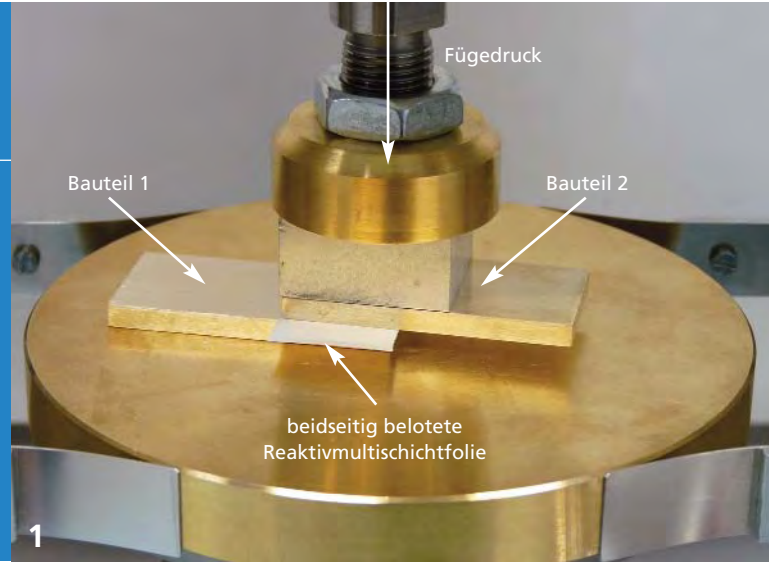
Die dabei erzielte Figurtreue der fünf Einzeloptiken ist in Abbildung 4 dargestellt. Entsprechende Winkeltangentenfehler $\Delta \Theta < 35 \mu\text{rad}$ werden von der Multischicht problemlos toleriert. Durch die Anordnung der Optik nahe am Plasmaquellpunkt ($f_1 = 100 \text{ mm}$) kann ein großer Raumwinkel der in 4π emittierenden Röntgenquelle abgedeckt werden. Ein direkter Vergleich zu sonst standardmäßig eingesetzten 2d-gebogenen Einkristallen ergab eine Steigerung der Photonenausbeute am Probenort um mehr als eine Größenordnung.

- 1 Fokussierende Röntgenspiegelanordnung, bestehend aus fünf 2-dimensional gekrümmten Einzelspiegeln
- 3 Strahlabbildungen der justierten 5-fach Optik: oben Grobjustage mit Laserstrahlung, unten Foki der Cu-K α -Röntgenstrahlung in verschiedenen Abständen

KONTAKT

Dipl.-Phys. Peter Gawlitza
 Telefon: +49 351 83391-3431
 peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de





REAKTIVE NANOMETER-MULTISCHICHTEN SIND MASSGESCHNEIDERTE WÄRMEQUELLEN

DIE AUFGABE

Die Reaktivmultischichten (RMS) stellen eine fügezoneninterne Wärmequelle zum reaktiven Löten von Bauteilen bereit. Dieses Verfahren kommt vor allem für Anwendungen in Frage, bei welchen materialschonend, thermosensitiv und spannungsarm gearbeitet werden muss. Um dies präzise zu gewährleisten, ist eine für den jeweiligen Fügeprozess maßgeschneiderte Wärmequelle zu entwickeln. Dies erfordert die Herstellung von genau definierten Schichtsystemen, die hinsichtlich ihres Energiegehalts sowie der Ausbreitungsgeschwindigkeit der selbstfortschreitenden Reaktionsfront optimal an die Fügeaufgabe angepasst werden.

UNSERE LÖSUNG

Reaktivmultischichten (RMS) bestehen aus mindestens zwei unterschiedlichen reaktiven Materialien, welche in einigen hundert bis tausend Einzelschichten übereinander angeordnet vorliegen. Durch Einbringen einer Aktivierungsenergie, z. B. mittels eines elektrischen Funkens, wird eine atomare Interdiffusion der Materialien im lagenweise aufgebauten metastabilen Reaktivsystem ausgelöst.

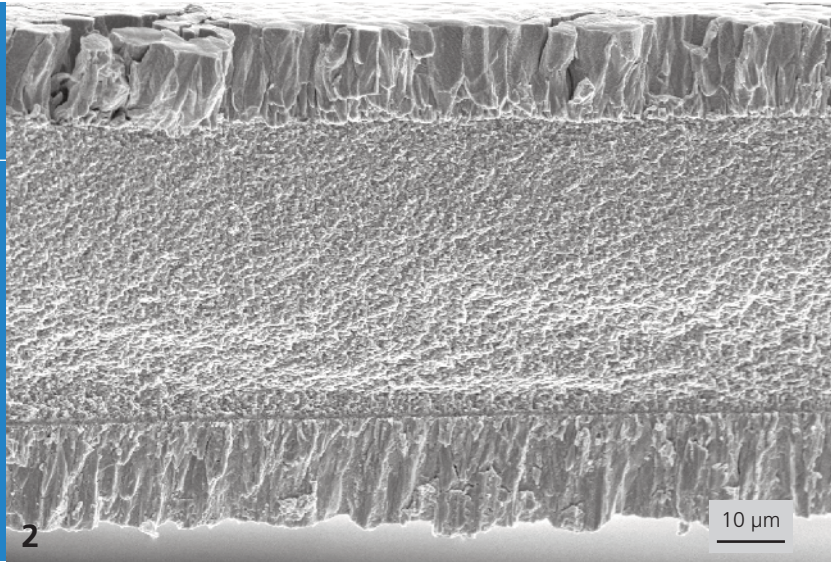
Jene Reaktion ist mit Abgabe einer zum Aufschmelzen von Loten nutzbaren Wärmeenergie verbunden. Durch die Änderung der Periodendicke der Einzelschichten und des stöchiometrischen Verhältnisses der Reaktivmaterialien zueinander ist eine Möglichkeit gegeben, diesen Prozess präzise und reproduzierbar zu steuern.

Die Herstellung von freistehenden RMS-Folien erlaubt es, den Energiegehalt und die Ausbreitungsgeschwindigkeit der selbstfortschreitenden Reaktion in Abhängigkeit von den

Schichtparametern zu bestimmen. Dadurch kann die zur Verfügung stehende Maximaltemperatur und die Schmelzzeit für spezielle Lote berechnet und gesteuert werden. Mittels Zugversuchen an Beispielsystemen (Messing-Messing, Ti-Ti, Cu-Keramik u.a.) werden außerdem Einflüsse der reaktiven Fügeprozessführung auf die erreichbaren Festigkeiten ermittelt.

ERGEBNISSE

Im Fraunhofer IWS sind Reaktivmultischichten unterschiedlicher Materialkombinationen erfolgreich entwickelt worden. Neben der Wahl der freisetzbaren Wärmemenge ist es ebenso möglich, durch gezielte Anpassung der Periodendicken des Multischichtstapels die Diffusionswege während der Reaktion zu variieren und damit direkten Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Reaktionsfront zu nehmen. Damit werden RMS-Systeme genau an das jeweilige Fügeproblem angepasst. Durch Variation der Periodendicke im Bereich von 25 nm bis zu 150 nm konnte die Ausbreitungsgeschwindigkeit von 11 m s^{-1} auf bis zu 3 m s^{-1} gesenkt werden. Bei Verwendung von Sn-Weichloten hat das eine Erhöhung der simulierten Schmelzzeiten von 0,1 ms auf 0,8 ms zur Folge. Mittels der differentiellen Thermoanalyse (DTA) konnten in Abhängigkeit des Ni-Al-Verhältnisses freiwerdende Wärmemengen im Bereich von $1,2 \text{ kJ g}^{-1}$ – $2,0 \text{ kJ g}^{-1}$ ermittelt werden. RMS können sowohl auf Bauteilebene als auch als freistehende Reaktivmultischichtfolie hergestellt werden. Freistehende, optional vorbelotete Reaktivmultischichtfolien erlauben die mobile Anwendung der reaktiven Fügetechnologie und bieten ein anwendungsbereites Werkzeug zur Herstellung von Fügeverbindungen. Mit Hilfe eigens hergestellter $40 \mu\text{m}$ dicker Ni/Al-Reaktivmultischichtfolien konnten unterschiedlichste Materialkombinationen erfolgreich gefügt werden. Neben



Verbindungen aus Metall-Metall sind Metall-Keramik, Silizium-Keramik sowie Fügungen zwischen Metallen und ultranano-kristallinen Diamantfolien (NCDF) erfolgreich hergestellt worden. Die erreichbaren Festigkeiten bei Nutzung der reaktiven Füge-technologie hängen von zahlreichen Fügeprozessparametern ab. In Abbildung 3 ist ihre Abhängigkeit von ausgewählten Parametern wie Lotart, Fügedruck und Bauteilvorbehandlung dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass der Fügedruck Einfluss auf die Güte der Fügeverbindung hat. So führen niedrige Fügedrücke zu einer unzureichenden Benetzung der Oberflächen. Ein zu hoch gewählter Fügedruck resultiert in einem festigkeitsmindernden Austreiben des schmelzflüssigen Lotes aus der Fügezone. Durch die Bauteilvorbehandlung kann die zu erreichende Festigkeit positiv beeinflusst werden. So wird durch das Aufbringen von Benetzungs- und Wärmebarriereschichten zur Verlängerung der schmelzflüssigen Phase des Lotes die Anbindung auf den Bauteiloberflächen unterstützt und somit die Festigkeit der Verbindung erhöht.

Scherzugfestigkeit zweier reaktiv gefügter Messingbleche in Abhängigkeit ausgewählter Fügeprozessparameter bei der Nutzung stöchiometrischer, 40 µm dicker, freistehender Ni/Al-RMS

Festigkeit / MPa	Lot	Fügedruck / MPa	Bauteil-Vorbehandlung
4,3	10 µm Sn	5	Keine
9,3	10 µm Sn	15	Keine
15,4	10 µm Sn	15	Benetzungsschicht
25	10 µm Sn	15	Benetzungsschicht; Wärmebarriere
51	15 µm AuSn20	15	Benetzungsschicht; Wärmebarriere

3

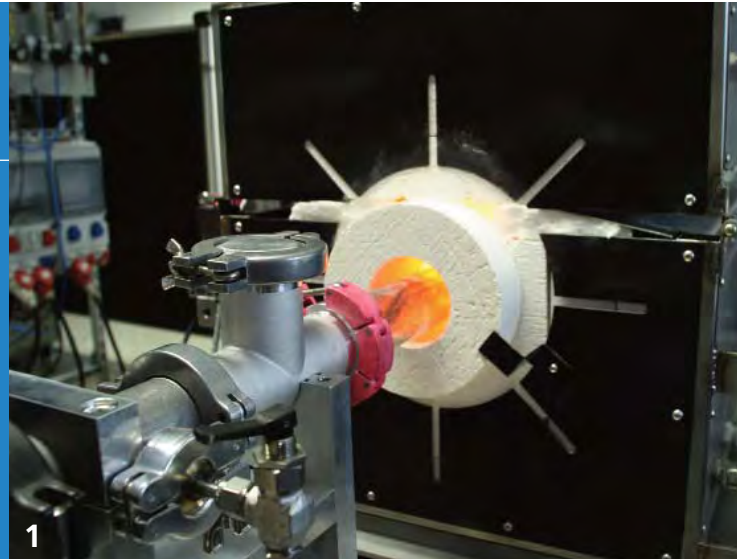
Neben Variation der Fügeparameter bieten auch die verwendeten Lote Potenzial zur Festigkeitssteigerung. So konnte nachgewiesen werden, dass die bei der Nutzung von Sn-basierten Weichloten erreichbaren Festigkeiten von ca. 25 MPa durch die Anwendung von Alternativloten, wie beispielsweise AuSn₂₀, auf Werte über 50 MPa erhöht werden können. Die Nutzung der Reaktivmultischichten zum Fügen bietet sich immer dann an, wenn konventionelle Füge-techniken nicht anwendbar sind. Besondere Vorteile des RMS-Fügens ergeben sich bei Präzisionsfügungen in der Mikro-systemtechnik, Optik oder Feinwerktechnik, in der Leistungs-elektronik, im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Fahrzeug- und Flugzeugtechnik.

- 1 *Fügung zweier Messingbleche unter Nutzung einer freistehenden, beloteten reaktiven Nanometermulti-schichtfolie*
- 2 *REM-Aufnahme des Querschnittes einer 40 µm dicken Ni/Al-Reaktivmulti-schichtfolie mit beidseitiger 10 µm Sn-Vorbelotung*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Georg Dietrich
 Telefon: +49 351 83391-3287
 georg.dietrich@iws.fraunhofer.de





REINIGUNG VON KOHLENSTOFF- NANORÖHRENSCHICHTEN

DIE AUFGABE

Einwandige Kohlenstoffnanoröhren (SWCNT) werden seit ihrer Entdeckung 1993 als ein Werkstoff der Zukunft gehandelt. Das Verhältnis von Zugfestigkeit zu Dichte ist um eine Größenordnung besser als bei Stahl oder Kohlenstofffasern, und man kann mit ihnen Stromdichten von 10^9 A cm^{-2} erreichen. Die gute elektrische Leitung der SWCNT wird dadurch erklärt, dass eindimensionale, kristalline, metallische Strukturen eine ballistische Elektronenleitung mit einem ohmschen Widerstand von $\sim 26 \text{ k}\Omega$ je Leitfähigkeitskanal aufweisen. Im günstigsten Fall hat ein SWCNT 4 Leitfähigkeitskanäle und der Widerstand liegt bei $\sim 6,5 \text{ k}\Omega$. Um ein Netzwerk aus SWCNT mit hoher elektrischer Leitfähigkeit aufzubauen, ist es somit von Vorteil, einen hohen Anteil langer SWCNT zur Verfügung zu haben.

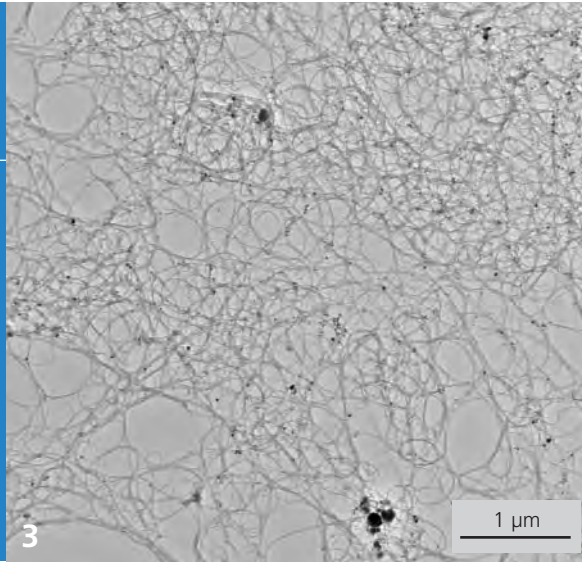
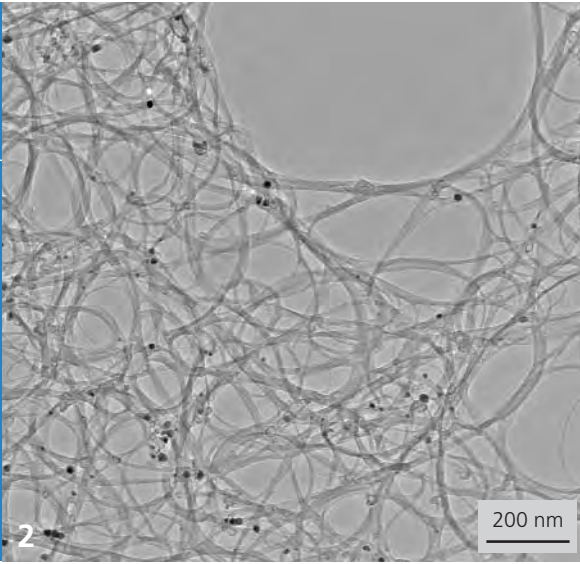
Außerdem sollten die SWCNT metallisch sein. In einer natürlichen SWCNT-Verteilung liegt der Anteil metallischer SWCNT bei $\sim 33 \%$. Durch das am Fraunhofer IWS entwickelte gepulste Lichtbogenverfahren, kann jedoch ein SWCNT-Material mit einem erhöhten Anteil metallischer SWCNT (45 - 55 %) synthetisiert werden (nachweisbar durch die optische Absorptionsspektroskopie). Da der Absolutanteil an SWCNT in diesem Material jedoch relativ gering ist ($\leq 40 \text{ Gewt.-%}$) und relativ viel amorpher Kohlenstoff neben den SWCNT produziert wird, muss im Normalfall eine mehrstündige nasschemische Behandlung des Materials durchgeführt werden, um den amorphen Kohlenstoff zu entfernen. Durch diese Behandlung können auch die SWCNT beschädigt, gekürzt und zerstört werden, was die Leitfähigkeit des Materials nachhaltig beeinflusst. Eine schonende Trennung der SWCNT von anderen Kohlenstoffspezies ist demnach wünschenswert.

UNSERE LÖSUNG

Durch Sprühtechniken kann SWCNT-Material als Film unterschiedlicher Dicke und Transparenz auf Quarzglasoberflächen abgeschieden werden. Diese Quarzglasplättchen können bei Temperaturen $> 850 \text{ }^\circ\text{C}$ in einem Ofen unter einer N_2 -Atmosphäre getempert werden. Durch die Temperaturbehandlung desorbieren kleinere Kohlenstoff-Cluster und Adsorbate von der heißen Quarzglasoberfläche bzw. den SWCNT. Die langen SWCNT-Bündel bleiben hingegen zunächst an der Quarzglasoberfläche haften.

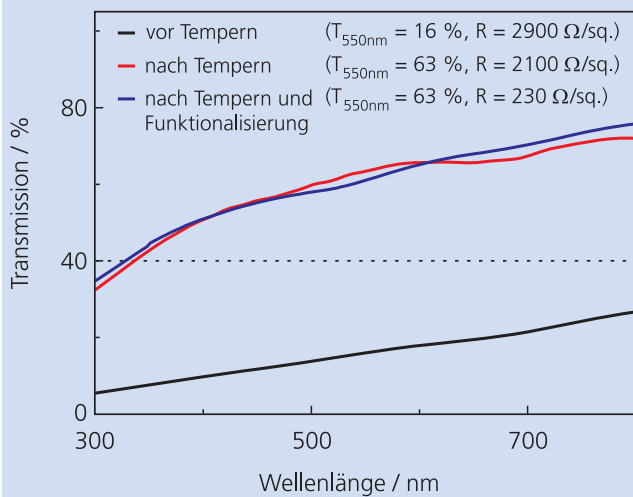
ERGEBNISSE

Durch das Tempern wurde ein Rückgang an Kohlenstoffverunreinigungen um bis zu 100 % festgestellt. Die Auswertung erfolgte durch die Absorptionsspektroskopie als auch durch elektronenmikroskopische Untersuchungen. Dieses Reinigungsverfahren lässt sich bei dünnen gesprühten SWCNT-Filmen hervorragend anwenden, ist jedoch nicht auf sogenanntes Bulk-Material anwendbar. SWCNT-Filme, die auf diese Weise behandelt wurden, weisen eine 15 - 50 % erhöhte Transparenz auf. Die elektrische Leitfähigkeit dieser Schichten bleibt erhalten. Neben dem amorphen Kohlenstoff desorbieren zunächst kürzere SWCNT-Bündel, die keinen wesentlichen Beitrag zur Leitfähigkeit leisten. Erst nach mehreren Stunden desorbieren auch die längeren SWCNT-Bündel.



Außerdem lösen sich durch den Temperatureintrag Adsorbate (z. B. O_2 , H_2O) von den SWCNT-Oberflächen, so dass eine anschließende Funktionalisierung der SWCNT-Oberfläche deutlich effektiver abläuft. Durch die anschließende Funktionalisierung der getemperten Proben kann eine Leitfähigkeitserhöhung der Oberfläche um mehr als eine Größenordnung erreicht werden.

Extinktionskurven eines SWCNT-Films nach unterschiedlicher Behandlung und daraus resultierenden unterschiedlichen Widerständen R und Transparenzen T



- 1 Temperofen für Schichten aus Kohlenstoffnanoröhren
- 2/3 TEM-Aufnahmen von Kohlenstoffnanoröhren

KONTAKT

Dipl. Phys. Aljoscha Roch
 Telefon: +49 351 83391-3415
aljoscha.roch@iws.fraunhofer.de



EXTREM NIEDRIGE REIBUNG MIT NEUEN KOHLENSTOFF-SCHICHTEN

DIE AUFGABE

In bewegten mechanischen Systemen wie Getrieben, Lagern und Führungen kommt es zu Energieverlusten durch Reibung. Die Minimierung von Reibungsverlusten gewinnt durch Ressourcenverknappung und Klimaschutzaspekte eine zunehmende Bedeutung. Beispielhaft seien hier Maßnahmen zur Kraftstoff-Verbrauchsminderung in Pkws und Nutzfahrzeugen genannt, aber auch in stationären Maschinen und Anlagen steht die Reibungsminimierung zunehmend in Fokus.

Wesentliche Erfolge zur Reibungsminderung konnten bereits durch konstruktive Maßnahmen und Schmiermittel mit komplexer Additivierung erzielt werden. Trotzdem sind in einigen mechanischen Systemen signifikante Reibungsverluste nach wie vor unvermeidlich. Mit dem Einzug der diamant-ähnlichen Kohlenstoffschichten (DLC) auf Gleitkomponenten wurde eine neue Ära der Reibungsminderung eingeleitet, da die mit DLC-beschichteten Oberflächen deutlich höhere Pressungen aushalten und in schlecht geschmierten Situationen ein günstiges Reibverhalten bewirken. Nachteilig ist jedoch, dass die DLC-Schichten nicht auf die üblichen Öl-Additive zur Verschleiß- und Reibungsminderung ansprechen und somit z.T. sogar höhere Reibwerte als im unbeschichteten Zustand auftreten. Die Aufgabe besteht also darin, nach Schicht-Schmierstoff-Kombinationen zu suchen, die sich in ihrer Wirksamkeit nicht behindern, sondern im günstigsten Fall sogar verstärken.

UNSERE LÖSUNG

Diese Chance ergibt sich mit der Einführung der Schichtgeneration ta-C (tetraedrischer amorpher Kohlenstoff). Da die ta-C-Schichten keinen Wasserstoff enthalten, sind sie für einige Schmierstoffadditive reaktionsfreudiger, was deren

Anbindung an die Schichtoberfläche erleichtert. Dies betrifft insbesondere die Additivierung mit dem Reibwertverminderer Glycerolmonooleat (GMO) bzw. allen organischen Substanzen, die Hydroxy- und Carboxygruppen aufweisen. Diese Stoffe haben in Kombination mit ta-C das Potenzial, bisher unerreicht niedrige Reibwerte unter Mischreibungsbedingungen zu erzielen. Darüber hinaus besitzt ta-C eine extreme Verschleißbeständigkeit, da es mit Abstand die härteste aller DLC-Schichtvarianten ist.

ERGEBNISSE

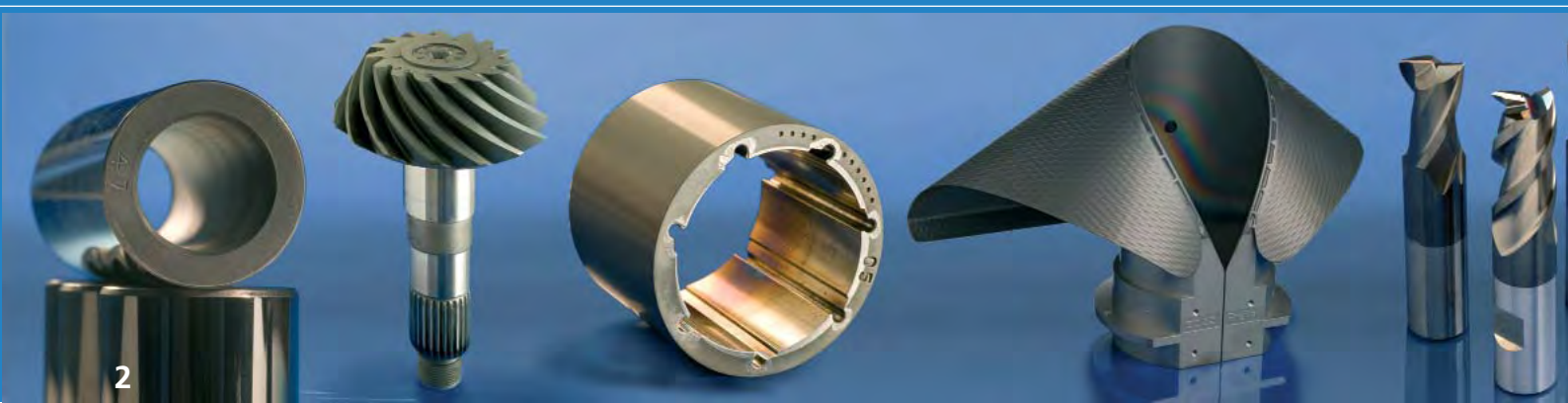
Mit dem am IWS entwickelten Laser-Arc-Verfahren erfolgte die Abscheidung von drei Sorten ta-C-Schichten (weich, Standard und hart) mit einer Dicke von ca. 2,5 µm auf Stahlproben (100Cr6). Es wurden folgende Schichteigenschaften gemessen:

Mit Nanoindentation gemessene Härten und E-Module der drei Schichtvarianten

	a-C weich	ta-C Standard	ta-C hart
Härte [GPa]	15,1	48,8	62,9
E-Modul [GPa]	125	460	606

1

An den beschichteten Proben erfolgten anschließend tribologische Untersuchungen in einem Optimol SRV[®]4-Tribometer zur Bestimmung der Reibwertverläufe. Dabei wurden in Anlehnung an reale Belastungen folgende Bedingungen gewählt: Stahlkugel Ø 10 mm als Gegenkörper, 50 N Last, 50 Hz Schwingfrequenz, 1 mm Schwingweite und eine Temperatur von 80 °C. Als Schmiermittel dienten Castrol VP1 (konventionelles mineralisches Motoröl), PAO (Polyalphaolefin, synthetisches Öl), PAO mit 1 % technischem GMO, PAO mit 5 % technischem GMO sowie reines Glycerin. Die aus jeweils



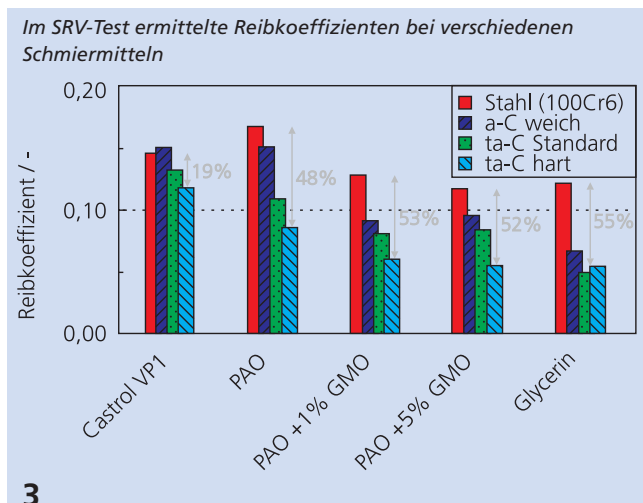
2

drei Messungen gemittelten Reibwerte sind in Abbildung 3 gegenübergestellt. Die gemessenen Reibwerte verdeutlichen einen beträchtlichen Reibwertvorteil von ta-C-Schichten gegenüber Stahl. Die maximal erreichbare Reibungsreduzierung von ta-C gegenüber Stahl ist im Diagramm (Prozentwert) jeweils mit angegeben. Während bei dem mineralischen Öl VP1 dieser Vorteil noch relativ gering ist (19 %), gibt es bei den anderen Schmierstoffen erhebliche Reibungsvorteile von 48 % und mehr. Sehr geringe Reibwerte werden mit dem GMO-additivierten synthetischen PAO-Öl gemessen. Das dem GMO chemisch verwandte Glycerin zeigt wie erwartet den größten Effekt (55 %). Es ist jedoch offensichtlich, dass selbst sehr geringe Konzentration des Additivs GMO bereits eine erhebliche reibwertsenkende Wirkung im PAO-Grundöl entfalten kann. Damit ist der Effekt sofort technisch nutzbar.

In den Messungen wird deutlich, dass die Art der ta-C-Schichten, insbesondere deren Härte, die Höhe der erreichbaren Reibungsreduzierung stark beeinflusst. Es ist zu schlussfolgern, dass die Härte der eingesetzten ta-C-Schichten möglichst hoch sein sollte, um den größten Reibungsvorteil zu erzielen.

Diese systematischen Untersuchungen zeigen, dass es mit ta-C eine Reihe von Schicht-Schmierstoff-Kombinationen gibt, bei denen eine signifikante Reibungsreduzierung im Vergleich zu unbeschichteten Stahl/Stahl-Paarungen auftritt. Mit diesem Aspekt haben die ta-C-Schichten über die normalen Vorzüge von DLC-Schichten hinaus einen zusätzlichen Vorteil. Für einige technische Anwendungen mit freier Schmierstoffwahl können diese Ergebnisse direkt umgesetzt werden. Mit dem Laser-Arc-Verfahren können zudem maßgeschneiderte ta-C-Schichten mit gezielt eingestellter Härte hergestellt werden.

2 *Komponenten und Werkzeuge mit einer ta-C Beschichtung zur Reibungsreduzierung und zum Verschleißschutz*

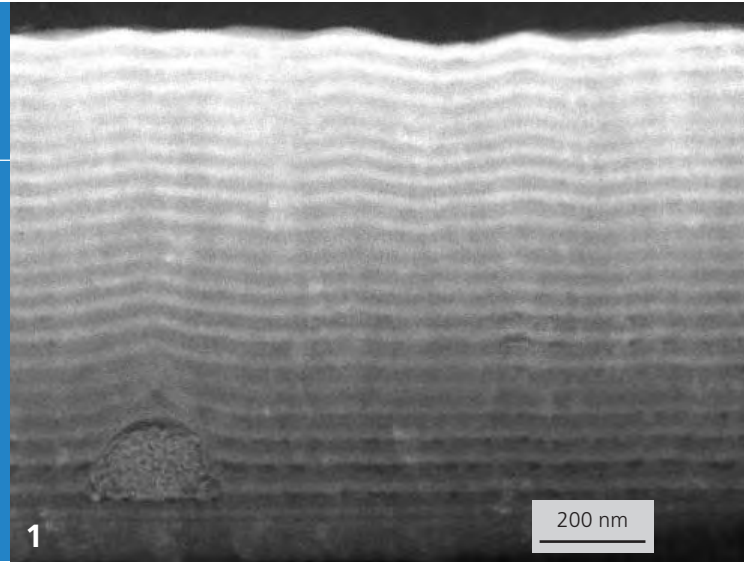


3

KONTAKT

Dr. Volker Weinhacht
 Telefon: +49 351 83391-3247
 volker.weinhacht@iws.fraunhofer.de





HARTSTOFFSCHICHTEN FÜR EXTREM BELASTETE OBERFLÄCHEN

DIE AUFGABE

Dünne Verschleißschutzbeschichtungen für Werkzeuge und Bauteile auf der Basis nitridischer Hartstoffe (z. B. TiN, AlTiN, CrN) werden vielfältig industriell angewendet. Die Herstellungsverfahren sind PVD-Verfahren (physical vapor deposition) oder CVD-Verfahren (chemical vapor deposition). Für spezielle Anwendungen sind Hartstoffschichten im Dickenbereich bis 50 µm durchaus wünschenswert. Beispielsweise wären Maschinenkomponenten oder Werkzeuge mit deutlich erhöhten Standzeiten herstellbar. Auch ergibt sich aus höheren Schichtdicken die Möglichkeit, die Schichten nachzubearbeiten bzw. zu strukturieren. Die Schichtdicken sind jedoch zumeist auf Dicken bis max. 20 µm begrenzt. Die wichtigsten Gründe dafür sind das Wachstum von Schichtdefekten und die intrinsischen Eigenspannungen der Schichten.

Bei der häufig verwendeten Vakuumbogentechnologie (Arc-Verfahren) werden Partikel von der Beschichtungsquelle (Bogenverdampfer) emittiert und in die Schichten eingebaut. Die Partikel sind in der Regel so klein, dass sie in der Anwendung nicht stören. Unter normalen Beschichtungsbedingungen kommt es jedoch zu weiterem Wachstum der Defekte, die in der Folge makroskopische Ausmaße annehmen können. Die Schichten werden rau und inhomogen und sind damit für Verschleißschutzanwendungen nicht mehr anwendbar. Eine weitere Herausforderung bei der Herstellung dickerer Hartstoffschichten stellen die Schichteigenspannungen dar. Diese belasten die Schicht-Substrat-Grenzfläche und können Risse oder Schichtablösungen verursachen. Dickere Hartstoffschichten lassen sich demnach herstellen, wenn das Defektwachstum unterdrückt und die Spannungszustände in der Schicht beherrscht werden können.

UNSERE LÖSUNG

Das Wachstum eines Defektes kann unterbrochen werden, wenn dieser mit einem anderen Werkstoff abgedeckt wird, der ein Wachstum in der Mikrostruktur des Defektes nicht zulässt. Somit ist eine Mehrlagenstruktur für eine Defektunterdrückung besonders sinnvoll. Durch geeignete Materialkombination wird das Wachstum vorhandener Defekte unterbrochen und eine nachfolgende Einebnung erreicht. Durch Minimierung der Einzellagendicken bis in den Nanometerbereich (Nanolayer) ist eine weitere Homogenisierung der Schichtstruktur möglich (Abb. 1).

Die Lagenstruktur erweist sich auch für die Einstellung von Eigenspannungszuständen in der Schicht als vorteilhaft. So werden durch geeignete Schichtkombinationen niedrigere Eigenspannungsniveaus als bei den einzelnen Komponenten der Schicht erreicht.

Neben der Lagenstruktur ist auch die Nanostrukturierung durch Selbstorganisation ein geeignetes Mittel, die Schichteigenschaften positiv zu beeinflussen. So gelingt es beispielsweise durch Einbau geringer Mengen Siliziums in die Schichten, deren Härte und Zähigkeit zu verbessern.

ERGEBNISSE

Unter Nutzung der Mehrlagen-Schichtarchitektur wurden Schichten von über 100 µm Dicke abgeschieden (Abb. 2). Durch gezielte Auswahl der Werkstoffe der Einzellagen können im Vergleich zu den TiN-, CrN- oder AlCrN-Schichten geringe Eigenspannungen erreicht werden (Abb. 4). Dabei kann durch Wahl des Schichtdickenverhältnisses der Einzellagen die Eigenspannung eingestellt werden.

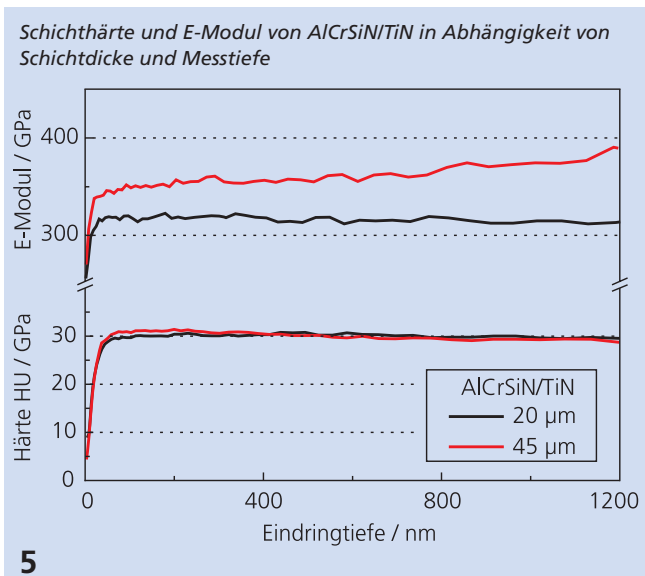
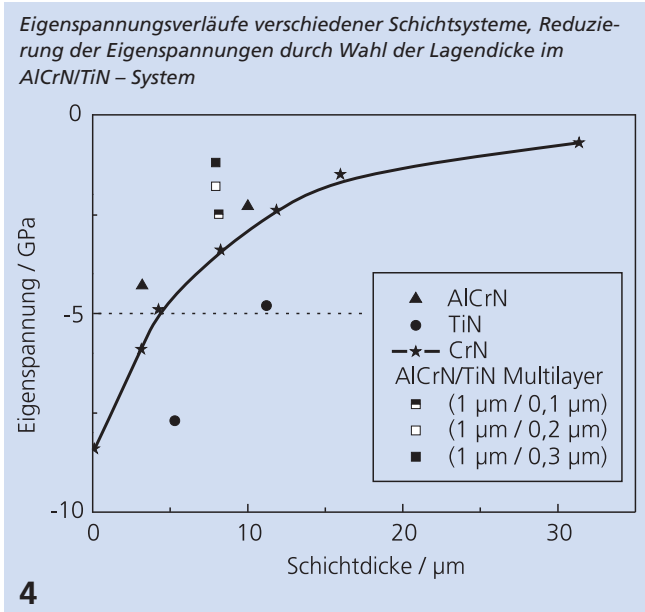
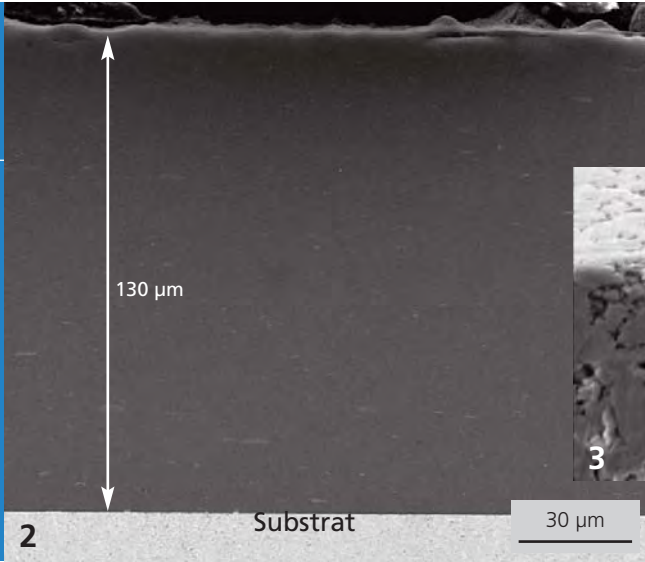


Abbildung 5 zeigt Schichthärte und E-Modul in Abhängigkeit der Schichtdicke sowie der Eindringtiefe des Indenters bei der Messung. Dabei konnte ein homogener Härteverlauf in Abhängigkeit von der Indenter-Eindringtiefe nachgewiesen werden.

ANWENDUNGSPOTENZIAL

Dicke, harte Verschleißschutzschichten bieten eine größere Verschleißreserve im Vergleich zu dünneren Schichten und sind deshalb für langlebige, hoch belastete Oberflächen besonders geeignet. Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit der mechanischen Bearbeitung der Schichten, z. B. durch Schleifverfahren. Abbildung 3 zeigt eine Kante, die in eine dick abgeschiedene Hartstoffschicht eingearbeitet wurde. Deutlich sichtbar ist die wesentlich homogenere Struktur im Vergleich zum Hartmetall. Auf diese Weise können z. B. Werkzeuge mit sehr scharfen Kanten oder harte, strukturierte Bauteiloberflächen hergestellt werden.

Das Projekt wurde vom Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) 2000-2006 und von der Regierung des Freistaates Sachsen finanziert.

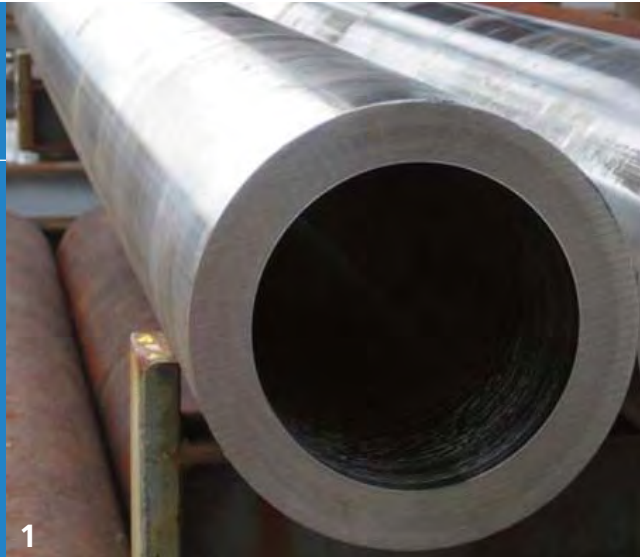
- 1 Defekteinbettung in einer Mehrlagenstruktur
- 2 AlCrSiNiTiN- Nanolagenschicht, ca. 130 µm dick
- 3 Präparation einer Kante an einem dick beschichteten Hartmetallkörper

Die erzielte Schichtstruktur ist weitgehend homogen und für Werkzeuganwendungen bestens geeignet. Zum Nachweis der homogenen Schichtstruktur wurde neben rasterelektronenmikroskopischen Analysen auch die Untersuchung der Verteilung der mechanischen Eigenschaften herangezogen.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Frank Kaulfuß
 Telefon: +49 351 83391-3414
 frank.kaulfuss@iws.fraunhofer.de





MIT DIAMOR® BOHRT ES SICH BESSER

DIE AUFGABE

Die Bearbeitung von Metallen und Legierungen, die zum Kaltaufschweißen neigen, führt durch den Materialübertrag häufig zu Problemen in der Fertigung. Ein Beispiel hierfür ist das Tieflochbohren: Rohre, die wie z. B. im Offshore-Bereich extremen Anforderungen an die Festigkeit genügen müssen (Abb. 1), werden durch Ausbohren geschmiedeten Stangenmaterials hergestellt. Wenn erhöhte Anforderungen an die Glätte der erzeugten Oberfläche (Bohrwand) gestellt werden, kommen – insbesondere bei großen Durchmessern – typischerweise BTA-Tieflochbohrwerkzeuge (Abb. 2) zum Einsatz.

Die Wendeschneidplatten an der Spitze des Werkzeuges führen die eigentliche Bohroperation aus. Auf dem Umfang verteilt sitzen drei polierte Führungsleisten aus Hartmetall, die den Bohrkopf zentrieren, damit die Bohrung nicht seitlich auswandert. Außerdem haben die Führungsleisten eine zweite Funktion: Die Funktionsflächen der Führungsleisten ragen einige Mikrometer über den Umkreis der Wendeschneidplatten heraus und glätten so die durch die Bohroperation entstandene Oberfläche ein. Dadurch entstehen extrem hohe Flächenpressungen, was zum Reißen des Schmierfilms und zu abrasivem Verschleiß der Führungsleisten führt.

Darüber hinaus kommt es bei der Bearbeitung schmierender Materialien wie Edelstahl oder Titan zu Materialübertrag vom Werkstück auf die Führungsleisten. Dies führt zu einer schlechteren Qualität der erzeugten Oberfläche und zu stick-slip-Effekten, durch die der ganze Prozess ins Schwingen gerät. Die Führungsleisten sind dann auszutauschen, was zur Unterbrechung der Bearbeitung und Maschinenstillstandszeiten führt und eine verringerte Wirtschaftlichkeit des Fertigungsprozesses zur Folge hat. Diese Effekte gilt es durch eine geeignete Beschichtung zu vermeiden.

UNSERE LÖSUNG

Die Beschichtung der Führungsleisten mit Diamor®, einer am Fraunhofer IWS entwickelten kohlenstoffbasierten Schicht, resultiert in deutlichen Qualitätsverbesserungen beim BTA-Tieflochbohren.

Durch die Verwendung des gepulsten Hochstrombogens für die Abscheidung besitzt Diamor® einen sehr hohen Anteil diamantartiger Bindungen und damit eine extreme Härte (je nach Abscheidebedingungen bis 7500 HV). Der Verschleißwiderstand ist dadurch deutlich höher als z. B. bei TiN-beschichteten Führungsleisten und der Abrasivverschleiß vermindert sich ganz erheblich. Der niedrige Trockenreibungskoeffizient der Diamor®-Schicht ist bei den hier herrschenden, extrem hohen Flächenpressungen vorteilhaft für die Einhaltung konstanter Prozessbedingungen: stick-slip-Effekte, die sich zum Rattern des gesamten Systems aufschaukeln können, werden signifikant reduziert.

Durch die kovalenten Bindungsverhältnisse in der Schicht wird das Kaltaufschweißen des Werkstückmaterials auf der Oberfläche der Führungsleisten vermieden, so dass es nicht zu unkontrollierten Geometrieänderungen der Funktionsflächen kommt. Dies hat, wie die Ergebnisse zeigen, eine deutlich verbesserte Oberflächengüte der erzeugten Bohrwand zur Folge. Die am Fraunhofer IWS optimierte Abscheidetechnologie erlaubt die haftfeste Beschichtung verschiedenster Konstruktionswerkstoffe wie auch von Hartmetall. Dies erhöht die Gebrauchssicherheit bei Anwendungen mit sehr hohen Scherkräften, wie in diesem Fall, deutlich.



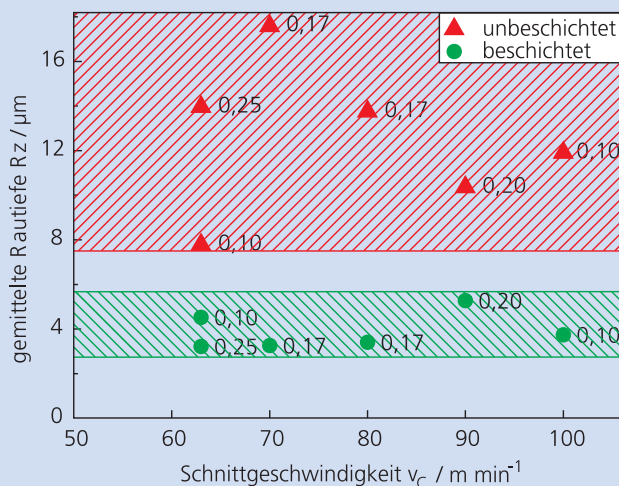
ERGEBNISSE

Handelsübliche, polierte Führungsleisten aus Hartmetall der Sorte P20 wurden mit 4 µm Diamor® beschichtet und danach gebürstet, um Wachstumsdefekte von der Oberfläche zu entfernen. Die Rauheit der beschichtet und gebürsteten Führungsleisten vor dem Einsatz war mit $R_a = 0,010 \mu\text{m}$ und $R_z = 0,095 \mu\text{m}$ deutlich geringer als die des unbeschichteten polierten Ausgangsmaterials ($R_a = 0,023 \mu\text{m}$, $R_z = 0,185 \mu\text{m}$). Die beschichteten Führungsleisten wurden in einen BTA-Bohrkopf mit einem Durchmesser von 57,4 mm und zwei AlTiN-beschichteten Wendeschneidplatten eingesetzt. Damit wurden zentrische Vollbohrungen in Stabmaterial aus dem austenitischen Edelstahl X5CrNi18-10 (1.4301) eingebracht.

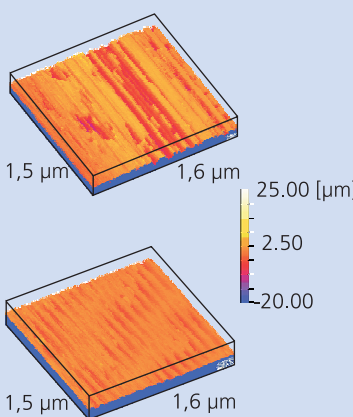
gemittelte Rautiefen). Darüber hinaus streuten die mit beschichteten Führungsleisten erzielten Ergebnisse deutlich weniger. Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass sich die Rauheit der erzeugten Oberflächen durch den Einsatz mit Diamor® beschichteter Führungsleisten signifikant verringern lässt. Darüber hinaus kann an beschichteten Führungsleisten nach dem Bohren kein Materialübertrag vom Werkstück festgestellt werden. Das hohe Potenzial von Diamor® für diese Anwendung wird daher in einem laufenden Projekt weiter untersucht.

Besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Thorsten Upmeier vom Institut für spanende Fertigung der TU Dortmund für die Durchführung der Bohrversuche.

Einfluss der Schneidparameter auf die Oberflächengüte der Bohr­löcher für unbeschichtete Führungsleisten (rot) und mit Diamor® beschichtete Führungsleisten (grün) für unterschiedliche Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe (Werte rechts neben den Datenpunkten)



3D-Weißlichtkonfokalmikroskopische Aufnahmen von Bohrloch­oberflächen; oben: mit unbeschichteten; unten: mit beschichteten Führungsleisten gebohrt



- 1 Mittels Tieflochbohren hergestellte Edelstahlrohre für die Offshore-Industrie
- 2 BTA-Tieflochbohrkopf mit drei auf dem Umfang verteilten Führungsleisten

Als Parameter wurden die Schnittgeschwindigkeit und der Vorschub variiert. Wie Abbildung 4 zeigt, ergaben sich mit beschichteten Führungsleisten im Vergleich zu unbeschichteten für alle untersuchten Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe signifikant bessere Oberflächengüten (geringere

KONTAKT

Dr. Thomas Stucky
 Telefon: +49 231 844-3888
 thomas.stucky@iws.fraunhofer.de



AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN 2011

WISSENSCHAFTSPREISE FÜR FORSCHUNGSARBEITEN ZUM DIREKTEN LASERSTRAHLINTERFERENZ- STRUKTURIEREN

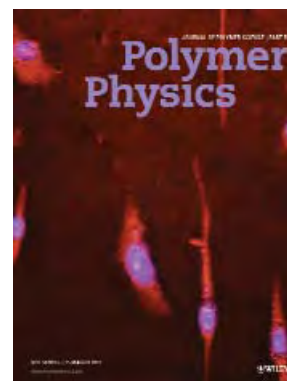
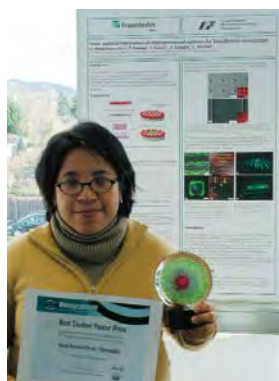


Der GHTC-Wettbewerb wendet sich an Technologieentwickler, die im Rahmen ihrer Tätigkeit an einer Universität oder einem außeruniversitären Institut anwendungsnahe Produkte oder Prozesse entwickeln. Mit der Kampagne »German High Tech Champions« lädt die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dazu ein, ihre anwendungsnahe Technologieentwicklungen nicht nur im Inland bekannt zu machen, sondern diese gezielt einem Fachpublikum im Ausland vorzustellen.

Die »German High Tech Champion« auf dem Gebiet der Photovoltaik kommen im Jahr 2011 aus Dresden. Für ihre Forschungsarbeiten zur schnellen Fertigung von Nanostrukturen für hoch effiziente Solarzellen wurden **Dr. Andrés F. Lasagni** (Fraunhofer IWS) sowie **Dr. Lars Müller-Meskamp** (TU, Dresden, Institut für Angewandte Photophysik) und ihren Teams die Auszeichnung »German High Tech Champion« auf dem Gebiet Solar/PV verliehen. Die feierliche Preisverleihung erfolgte am 15. Juni 2011 im Rahmen der Clean Technology Conference & Expo in Boston, USA. Die Auszeichnung war mit einer Präsentation auf der Messe und einem Speed-Dining zur individuellen Kontaktaufnahme mit interessierten Unternehmen und Technologie-Scouts verbunden.

Gewürdigt wurden die Arbeiten der Arbeitsgruppe auch von der wissenschaftlichen Zeitschrift »Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics«. Der von D. Langheinrich, E. Yslas, M. Broglia, V. Rivarola, D. Acevedo und A. Lasagni verfasste Artikel »Control of Cell Growth Direction by Direct Fabrication of Periodic Micro- and Submicrometer Arrays on Polymers« wird im März 2012 in der Zeitschrift erscheinen und durch die Gestaltung der Titelseite besonders hervorgehoben. Es wird gezeigt wie periodische Strukturen im Submikrometerbereich das Verhalten lebender Zellen beeinflussen.

Für ihr Poster zur Wissenschaftlichen Tagung »24th European Conference on Biomaterials« erhielt Frau **Heidi Perez** den Bio-interphases Preis 2011. Das Poster »Laser assisted fabrication of micropatterned bioadhesive microdomains« basiert auf den in der Arbeitsgruppe Oberflächenfunktionalisierung des Fraunhofer IWS durchgeführten Forschungsarbeiten im Bereich Mikrolinsenarray-Strukturierung von Hydrogelen.



Fraunhofer IWS und dem Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados an der Universität Rio Cuarto in Argentinien. Sie wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziell unterstützt.



Am 16. Dezember wurden die IWS-Preisträger des Jahres 2011 gekürt.



Die Forschungsarbeiten von **Dr. Andrés Lasagni**, **Matthias Bieda** und **Teja Roch** (v. l. n. r.) zur großflächigen Herstellung von Nanostrukturen für effizientere Solarzellen wurden auch mit dem Preis für die beste wissenschaftlich-technische Leistung ausgezeichnet. Gewürdigt wurde damit die Entwicklung kompakter Systeme für die industrielle Überführung der Technologie des Laserinterferenzstrukturierens. Es wurden zwei Demonstratoren aufgebaut und erprobt. Die eine Lösung ist geeignet für Lasersysteme mit hoher Pulsenergie, die andere für Laser mit hoher Pulsfrequenz.

Herr **Mirko Riede** erhielt den Preis für die beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers. Er lieferte einen bedeutenden Beitrag zur Identifizierung und Gewichtung der Prozesseinflüsse beim Laser-Pulver-Auftragschweißen mit höchster Präzision. Mehrere Systemkomponenten wurden in Folge der Analyse modifiziert und Schweißstrategien angepasst. Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der generierten Strukturen konnte damit deutlich verbessert werden.

Die Forschungsarbeiten von Herrn **Erik Pflug** zur Entwicklung neuartiger Reaktivmultischichten auf Basis von Ni/Al-Systemen wurden als herausragende studentische Leistung geehrt. Bisher übten die beim Fügen mit Ni/Al-Reaktivsystemen in der Fügezone entstehenden inter-

metallischen Phasen einen ungünstigen Einfluss auf die Qualität der erzeugten Fügeverbindungen aus. Um die negativen Auswirkungen der intermetallischen Phase zu vermindern, entwickelte Herr Pflug ein erweitertes Reaktivmultischichtsystem. Damit verbessern sich sowohl die Herstellung und Handhabung der Reaktivschichten selbst als auch die mechanischen und elektrischen Eigenschaften der damit hergestellten Fügeverbindungen.



Auch die Arbeiten von Herrn **Sören Thieme** wurden als herausragende studentische Leistung ausgezeichnet. Herr Thieme widmete sich der Entwicklung von hochkapazitiven Schwefel/Kohlenstoffelektroden mittels lösungsmittelfreier Prozessierung von pulverförmigen Ausgangsmaterialien. Er entwickelte eine sehr effiziente, skalierbare und reproduzierbare Methode mit hohem Anwendungspotenzial.

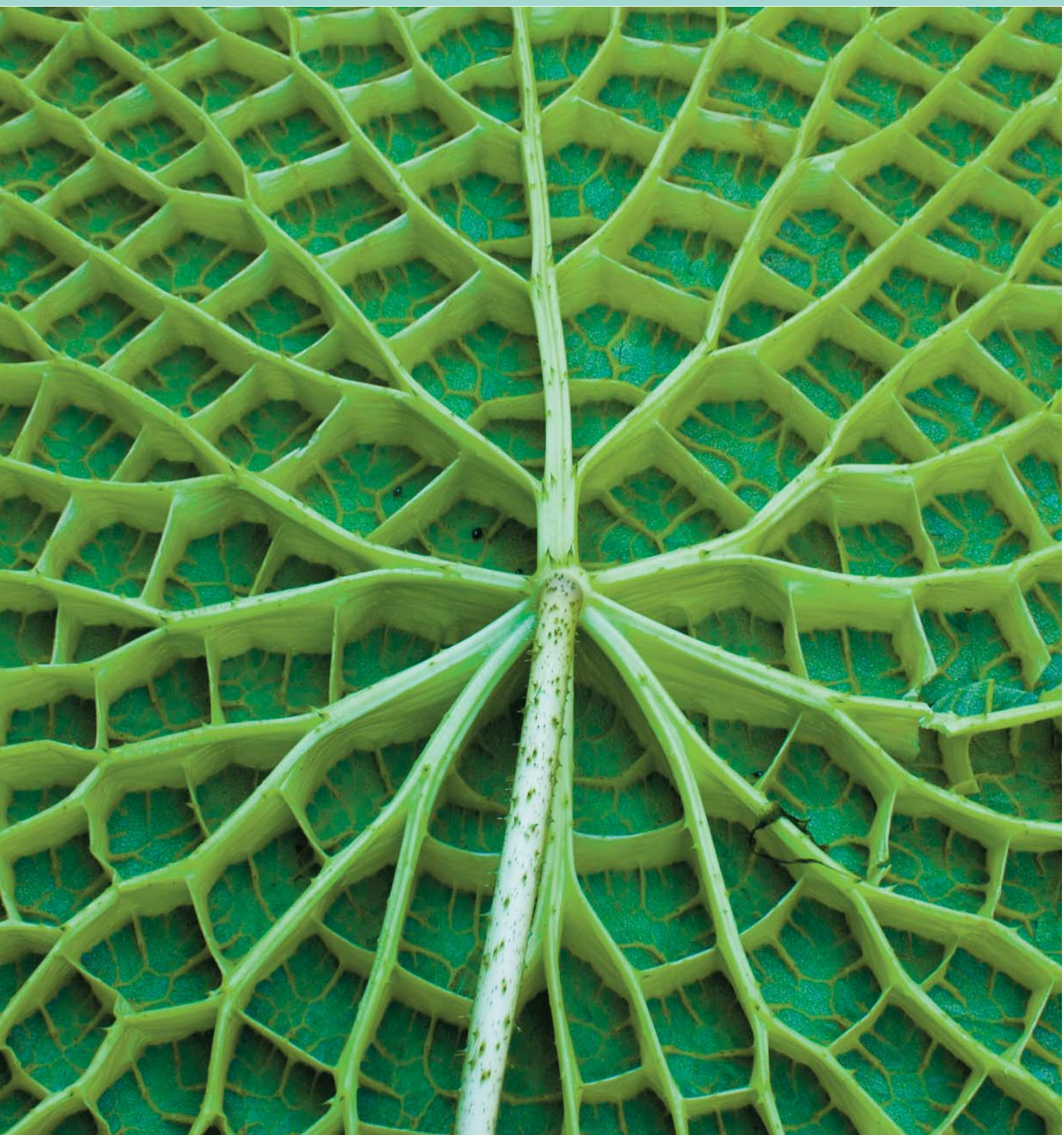


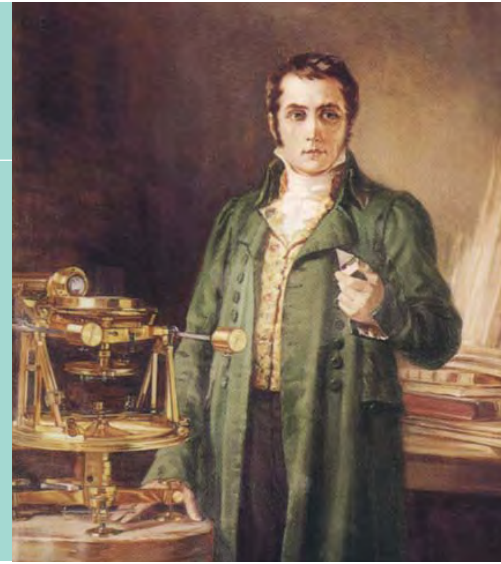
Ein Sonderpreis des Institutes ging an Frau **Steffi Wittig** für die rasche, kompetente und unkomplizierte Unterstützung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei der administrativen Abwicklung zahlreicher Forschungsprojekte.



Einen weiteren Sonderpreis erhielt Herr **Dr. Arnhold Luft** für die Konzeption und Durchführung umfangreicher interner Weiterbildungsseminare zu werkstofftechnischen Fragestellungen.

NETZWERKE





DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 60 Institute. Mehr als 20 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,8 Milliarden Euro. Davon fallen 1,5 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

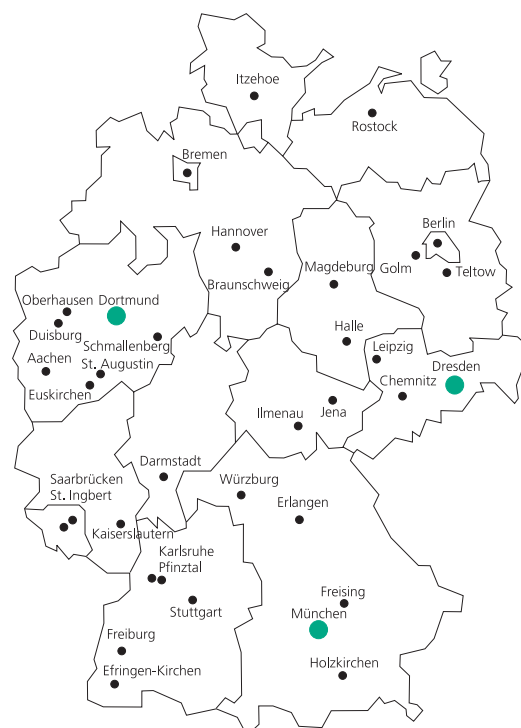
Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie

fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787-1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.





*Die Gegenwart eines Landes
wird durch seine Wirtschaftskraft bestimmt,
die Zukunft eines Landes
wird durch seine Jugend bestimmt.*

Autor unbekannt

ANBINDUNG AN DIE TU DRESDEN

KOOPERATION FRAUNHOFER IWS - TU DRESDEN

Durch eine Kooperationsvereinbarung ist die Zusammenarbeit zwischen dem IWS und der TU Dresden geregelt. Auf Basis einer gemeinsamen Berufung ist der Lehrstuhlinhaber, Prof. Beyer, gleichzeitig Leiter des Fraunhofer IWS. Hierbei gilt folgende Aufgabenteilung: Forschung und Lehre werden schwerpunktmäßig am Lehrstuhl, die angewandte Forschung und Entwicklung am IWS durchgeführt. Dabei sind IWS-Mitarbeiter in die Arbeiten des Lehrstuhls und TU-Mitarbeiter in Arbeiten des IWS eingebunden. Letztlich stellen IWS und Lehrstuhl eine Einheit mit unterschiedlichen Schwerpunkten dar.

Vorteile für das IWS:

- kostengünstige Grundlagenforschung
- Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern für das IWS
- Zugang zu wissenschaftlichen Hilfskräften

Vorteile für die TU Dresden:

- FuE-Einbindung in Industrieprojekte
- Integration neuester FuE-Ergebnisse in die Lehre
- Ausbildung von Studenten an modernstem Equipment

PROF. DR.-ING. HABIL. ECKHARD BEYER

PROFESSUR FÜR LASER- UND OBERFLÄCHENTECHNIK

Themen:

- Lasersystemtechnik
- Laserbearbeitungsverfahren
- Plasmen in der Fertigungstechnik
- Oberflächen-, Mikro- und Nanotechnik
- Fertigungstechnik II
- Laserrobotik
- Rapid Prototyping and Tooling

Als Abteilungsleiter sind weitere Professoren der TU Dresden im IWS tätig:

PROF. DR. RER. NAT. HABIL. STEFAN KASKEL

PROFESSUR FÜR ANORGANISCHE CHEMIE

Themen:

- Synthese, Charakterisierung und Verwendung poröser Materialien
- Anorganische Nanopartikel
- Nanokomposite und Hybridmaterialien

PROF. DR.-ING. CHRISTOPH LEYENS

PROFESSUR FÜR WERKSTOFFTECHNIK

Themen:

- Metallische und intermetallische Leichtbauwerkstoffe
- Hochtemperaturwerkstoffe
- Dünnschichtsysteme
- Werkstoffprüfung

PROF. DR.-ING. ULRICH GÜNTHER

PROFESSUR FÜR PRODUKTIONSTECHNIK STEINBEIS- HOCHSCHULE

Themen:

- Spanende Oberflächenbearbeitung
- Produktionsgestaltung

DRESDEN concept



»DRESDEN-CONCEPT«

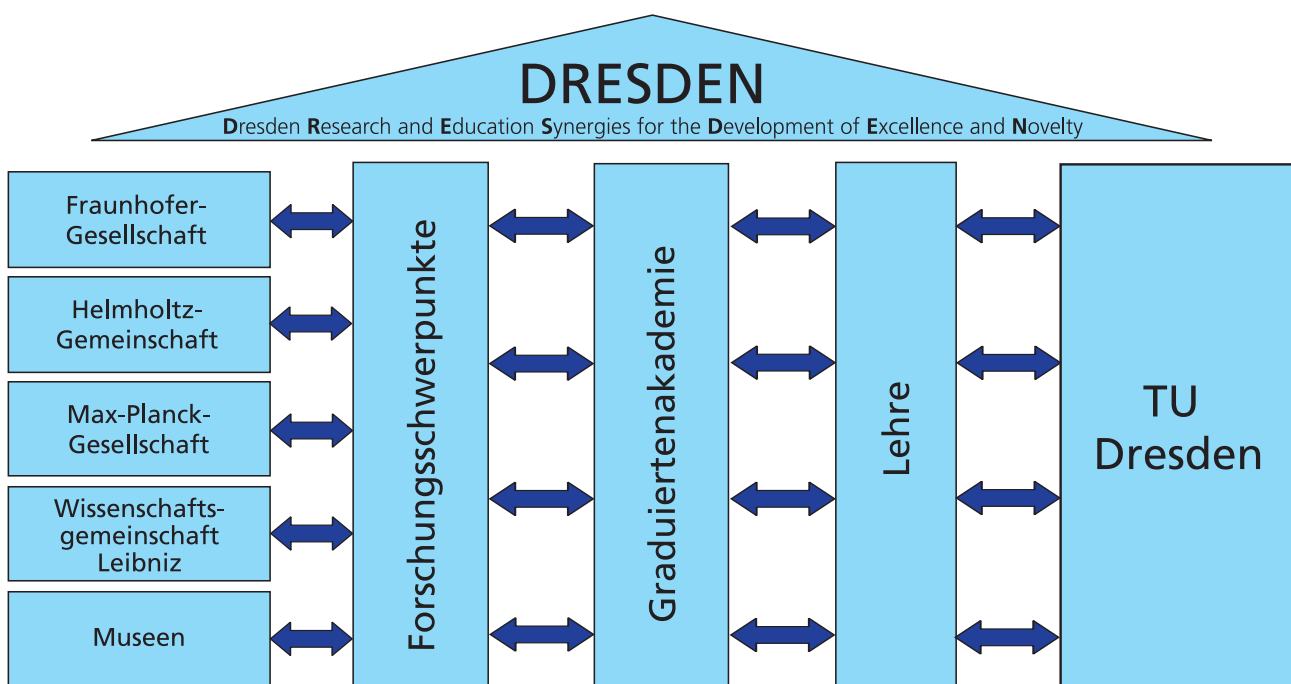
Dresden gehört zu den führenden Forschungsstandorten Deutschlands mit einer hohen Dichte wissenschaftlich arbeitender Institutionen: zehn Hochschulen, darunter die TU Dresden, die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW), 12 Fraunhofer-Einrichtungen, drei Institute der Max-Planck-Gesellschaft, drei Institute der Leibniz-Gemeinschaft sowie das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf.

Um diesen Vorsprung weiter auszubauen, wird die Dresdner Wissenschaftslandschaft zu einem exzellenten Forschungs- und universitären Ausbildungsraum vernetzt. Dazu bilden seit Februar 2009 die TU Dresden und die in der Region Dresden ansässigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie Museen der Landeshauptstadt eine Allianz der Spitzenforschung, die es in dieser Form bisher in Deutschland und auch weltweit nicht gibt.

Der Name dieser Allianz ist ihr Programm: DRESDEN-concept (**D**resden **R**esearch and **E**ducation **S**ynergies for the **D**evelopment of **E**xcellence and **N**ovelty). In einem gemeinsamen Dresdner Forschungs- und universitären Ausbildungsraum werden Synergien zwischen den außeruniversitären Instituten und der TU Dresden hinsichtlich Forschung, Graduiertenausbildung und wissenschaftlicher Infrastruktur geschaffen.

Als konkrete Ziele des DRESDEN-concept wurden vereinbart:

- Definition gemeinsamer Forschungsschwerpunkte,
- Gründung von Graduiertenschulen in diesen Bereichen,
- Zusammenarbeit bei der Gewinnung exzellenter Wissenschaftler aus aller Welt,
- Nutzung von Synergien bei der vorhandenen Infrastruktur (Labore, Geräte) sowie der Ausbildung der Studenten.



»DRESDNER INNOVATIONSZENTRUM ENERGIEEFFIZIENZ DIZE^{EFF}«

Das Dresdner Innovationszentrum Energieeffizienz ist eine themenspezifische Weiterentwicklung der erfolgreichen Kooperation zwischen der Technischen Universität Dresden und der Fraunhofer-Gesellschaft im Rahmen des DRESDEN-concepts.

Ziel des Innovationszentrums ist es, in enger wissenschaftlicher Zusammenarbeit sowohl die akademische Lehre und Forschung als auch die Innovationskompetenz beider Einrichtungen zu stärken. Dieses kommt auch dem Forschungsstandort Dresden und der Region zugute.

4 Institute der Fraunhofer-Gesellschaft sowie 8 Institute und eine Fachrichtung der TU Dresden bündeln ihre Kompetenzen und bearbeiten gemeinsam den Forschungsschwerpunkt Energieeffizienz in den Komplexen:

- Hochleistungssolarzellen,
- Brennstoffzellen,
- Hochtemperaturenergietechnik,
- Leichtbau und energieeffiziente Fertigung,
- Energiesparende Displays.

In diesen Bereichen besteht seitens der Industrie ein großer Bedarf an Forschungsleistungen und an herausragend ausgebildeten Naturwissenschaftlern und Ingenieuren.

Innerhalb des Dresdner Innovationszentrums engagieren sich die TU Dresden und die Fraunhofer-Gesellschaft intensiv für die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Sie bieten jungen Forscherinnen und Forschern an ihren hervorragend ausgestatteten Standorten attraktive Arbeitsbedingungen.

TU - Einrichtungen	Fraunhofer - Institute	Werkstoff- und Strahltechnik	Elektronenstrahl- und Plasmatechnik	Keramische Technologien und Systeme	Photonische Mikrosysteme
Oberflächen- und Fertigungstechnik	<input type="checkbox"/>				
Anorganische Chemie	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
Angewandte Physik			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Werkstoffwissenschaft				<input type="checkbox"/>	
Leichtbau und Kunststofftechnik	<input type="checkbox"/>				
Halbleiter- und Mikrosystemtechnik					<input type="checkbox"/>
Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik					<input type="checkbox"/>
Festkörperelektronik			<input type="checkbox"/>		
Energietechnik			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Das Dresdner Innovationszentrum Energieeffizienz erreicht durch die enge Verbindung der Grundlagenforschung an der Technischen Universität Dresden mit der Fraunhofer-Kompetenz zur industriellen Umsetzung eine höhere Leistungsfähigkeit. Die Geschwindigkeit der Einführung von Innovationen in die industrielle Praxis steigt. Damit stärken Universität und Fraunhofer den Wirtschaftsstandort Deutschland.



Von der Fraunhofer-Gesellschaft wird das Innovationszentrum mit sechs Millionen Euro gefördert, der Freistaat Sachsen stellt weitere vier Millionen Euro bereit. Damit werden in den Jahren 2009 bis 2013 zahlreiche hochqualifizierte Arbeitsplätze im Wissenschaftsbereich finanziert. Zusätzliche finanzielle Mittel aus der Industrie garantieren die Schaffung von weiteren Wissenschaftlerstellen in den Folgejahren.

Das Fraunhofer IWS koordiniert das Verbundprojekt und ist autorisierter Ansprechpartner.

SPRECHER

PROF. ECKHARD BEYER

Telefon +49 351 83391-3420
eckhard.beyer@iws.fraunhofer.de

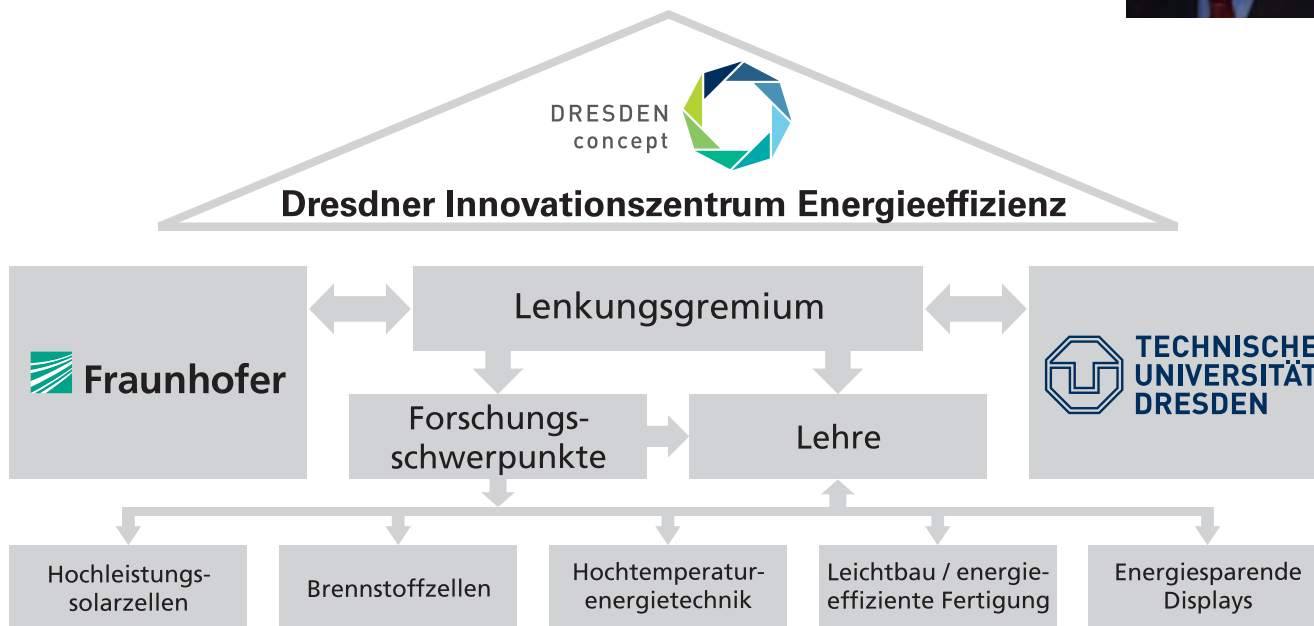


www.innovation-energieeffizienz.de
www.iws.fraunhofer.de

PROJEKTKOORDINATION

DR. STEFAN SCHÄDLICH

Telefon +49 351 83391-3411
stefan.schaedlich@iws.fraunhofer.de





PROJEKTGRUPPE IM DORTMUNDER OBERFLÄCHENCENTRUM (DOC®)

Die Oberflächentechnik nimmt bei Produkten und Flachzeugen aus Stahl einen herausragenden Stellenwert ein. Die ThyssenKrupp Steel Europe AG (TKSE) hat ihre Forschung und Entwicklung im Bereich der Oberflächentechnik in Dortmund konzentriert. Unter der Bezeichnung Dortmunder OberflächenCentrum (DOC®) befindet sich hier eine der weltweit führenden Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Oberflächentechnik für Stahl. Hier werden maßgeschneiderte Beschichtungen entwickelt, die in kontinuierlichen Prozessen auf Stahlband applizierbar sind. Kundenorientierte Entwicklungsziele sind neuartige Oberflächenkonzepte mit überlegenen Eigenschaften, wie z. B. gesteigerter Korrosionsbeständigkeit, Kratzfestigkeit, elektrischer Leitfähigkeit, Umform- eignung oder Reinigungseigenschaften. Aber auch Stahl- flachzeuge mit ganz neuen funktionellen Eigenschaften und einer damit verbundenen erhöhten Wertschöpfung wie z. B. solar- thermischen oder photovoltaischen Eigenschaften sind aktuell Forschungsgegenstand.

Das Fraunhofer IWS ist als Kooperationspartner direkt am DOC® mit einer Projektgruppe vertreten. Schwerpunkte der Entwicklungstätigkeiten dieser Gruppe liegen in der Beschich- tung von Oberflächen mittels PVD, PACVD sowie Spritzver- fahren und in der Lasermaterialbearbeitung.

Aktuelle Schwerpunkte Dünnschichttechnik:

- Entwicklung leitfähiger Kohlenstoffschichtsysteme (GLC: Graphite Like Carbon) für die Elektromobilität, z. B. für Stahl-Bipolarplatten für Brennstoffzellen sowie Al- und Cu-Elektroden für Batterien und Superkondensatoren
- Diamor®-Schichtsysteme (ta-C: tetraedisch amorpher Kohlenstoff) für den Verschleißschutz auf Basis des short pulsed Arc (spArc®)-Verfahrens

LEITER DER PROJEKTGRUPPE AM
DOC® IN DORTMUND

DR. AXEL ZWICK

Telefon +49 231 844 3512

axel.zwick@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/de/standorte/dortmund.html

- neuartige PVD-Hochleistungsverfahren für die Bandverede- lung und die Entwicklung von Korrosionsschutzsystemen auf Basis von Zinklegierungsüberzügen, z. B. für hochkorro- sionsfeste metallische Überzüge und metallische Überzüge für die Warmumformung

Aktuelle Schwerpunkte Lasermaterialbearbeitung und Spritztechnik:

- Entwicklung von Fügeverfahren auf der Basis des Laser- MSG-Hybridschweißens für den Leichtbau, z. B. für das Schweißen von Mobilkrankomponenten aus hochfesten Feinkornbaustählen
- spritzerarmes Hochgeschwindigkeits-Laserschweißen mit Festkörperlasern hoher Strahlqualität
- Lichtbogendrahtspritzen
- Kombinationsverfahren Fügen/Lichtbogendrahtspritzen, z. B. bei der Nachverzinkung von Schweißnähten
- Entwicklung von Prototypenschweißverfahren mit dem Fest- körperlaser

Darüber hinaus bietet die Fraunhofer-Projektgruppe auf einer Fläche von 1100 m² eine Reihe sich ergänzender Verfahren zur Oberflächenveredlung an. Mit modernster Anlagentechnik werden Spritzschichten mit dem preisgünstigen Lichtbogen-drahtspritzverfahren auch unter sauerstofffreien Bedingungen (Vakuumkammer) und in Kombination mit Festkörperlaser hergestellt. Zudem können hoch beanspruchte Bereiche von Bauteilen und Werkzeugen mit dem Laserauftragschweißen gezielt mit millimeterdicken Verschleißschutzschichten gepanzert werden. Aber auch im Vakuum lassen sich metergroße und tonnenschwere Teile mit nano- bis mikrometerdicken Höchstleistungsschichten versehen, z. B. mit Diamor[®]-Schichtsystemen mit dem kostengünstigen und robusten spArc[®]-Verfahren. Diese Schichten zeichnen sich durch eine überragende Härte und exzellente Gleiteigenschaften aus und können bei Temperaturen unter 150 °C mit hohen Raten abgeschieden werden. Schichtsysteme mit zusätzlichen Korrosionsschutzfunktionalitäten sind in der Entwicklung.

Die wichtigste Anlagentechnik in der Fraunhofer-Projektgruppe im DOC[®] ist:

- modulare spARC[®]-Verdampfertechnik in einer industriellen PVD-Großkammeranlage mit einem Nutzdurchmesser und einer Nutzhöhe von jeweils 1,2 m (Teilegewicht bis 2 t),
- selbst entwickelte Hochleistungs-PVD-Technik für die Bandveredelung im Grobvakuum,
- modernste Lichtbogendrahtspritztechnik mit Spritzkabine, Vakuumkammer und Möglichkeiten der Kombination mit dem Laser,
- 3D-taugliche Laser- und Laser-MSG-Hybridschweißanlagen (Kragarmportalanlage, Roboteranlagen) mit einem mobilen 8 kW Faserlaser und einem mobilen 4 kW Nd-YAG Laser.

Daneben können in gemeinsamen Projekten Anlagen des Fraunhofer IST und der TKSE genutzt werden. So wird z. B. gemeinsam mit TKSE und IST in der modular ausgelegten, über 80 m langen Bandpilotanlage von TKSE im DOC[®] der Einsatz von Verfahren der Vakuumdeposition für die kontinuierliche Veredelung von Feinblech erforscht.

Die breite Palette dieser Verfahren, die sich teilweise untereinander kombinieren lassen, stellen zusammen mit dem Know-how des Fraunhofer IWS sicher, dass TKSE, TKSE-Kunden und andere industrielle Kunden technisch und wirtschaftlich optimale Problemlösungen bekommen. Mit Hilfe neuartiger, kompakter und mobiler Festkörperlaser hoher Strahlqualität bis 8 kW Laserleistung ist es möglich, sowohl Verfahrensentwicklungen als auch »Trouble shooting« direkt beim Industriekunden zu realisieren und kurzfristig produktionsnah umzusetzen.



PROJECT CENTER LASER INTEGRATED MANUFACTURING IN WROCLAW (PCW)

Das 2008 eröffnete Fraunhofer Project Center arbeitet aktiv an der Etablierung des Fraunhofer Modells auf dem polnischen Forschungsmarkt. Das Jahr 2010 war geprägt durch die beachtliche Erweiterung der gerätetechnischen Basis der Wroclaw University of Technology im Rahmen des polnischen Investitionsprojektes »Optolas«. Im Jahr 2011 wurden die Inbetriebnahmen und Installationen der im Vorjahr beschafften Geräte und Ausstattungen abgeschlossen. Dies Investitionen wurden in zahlreichen öffentlich geförderten Projekten erfolgreich eingesetzt. Zu den Themen zählen z. B.:

- Lastech - Laser Technologies for Manufacturing Functional 3D and Surface Structures
- Bioimplants for the Treatment of Bone Loss in Oncological Patients
- Rapid Manufacturing Technologies in Low Volume Production of Individualised Products
- Laser Technologies for Structural Surface Manufacturing - Cladding and Alloying
- Method Development for Replication of Forensic Evidence
- Cax Software and Measurement Equipment for Simulation Based of Optomechatronics Devices Especially Machine Vision

Den Höhepunkt dieses Jahres für die Wroclaw University of Technology und somit für das Fraunhofer Project Center stellte die Ausrichtung der Konferenz »ManuFuture 2011« in Wroclaw dar. Unter Leitung und Präsidentschaft von Prof. Chlebus konnten mehr als 400 internationale Gäste bei den anspruchsvollen Beiträgen unter dem Konferenzthema »West and East Europe in High Added Value Global Manufacturing - Facts of Today and Challenges of Tomorrow« begrüßt werden.

INSTITUTSDIREKTOR

PROF. EDWARD CHLEBUS

TU Wrocław

Telefon +48 71 320 2705

edward.chlebus@pwr.wroc.pl



PROJEKTKOORDINATION

DR. JAN HAUPTMANN

Fraunhofer IWS

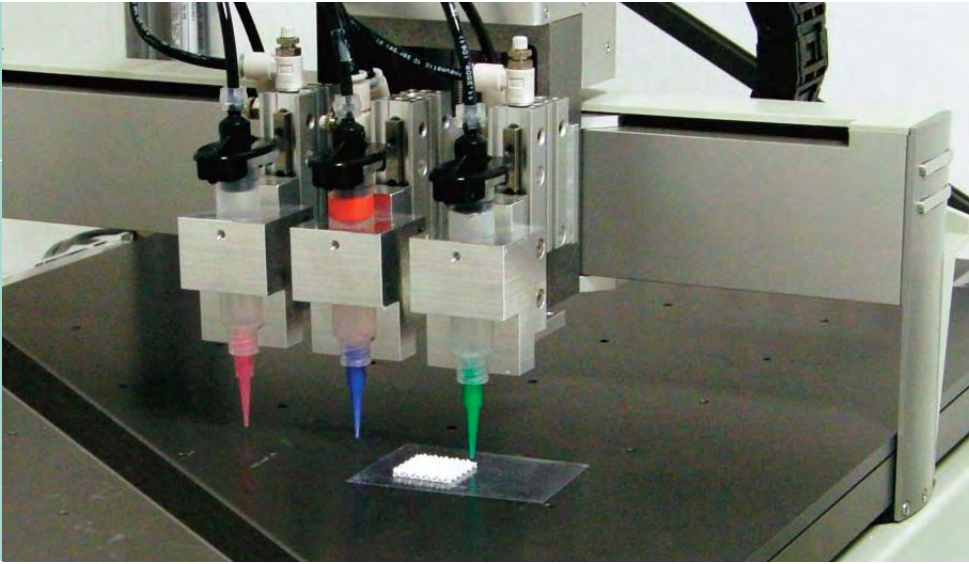
Telefon +49 351 83391-3236

jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de



Das Potenzial und die Möglichkeiten des Fraunhofer Project Centers konnte neben der Vorstellung in Vorträgen während des Rundganges der Teilnehmer präsentiert werden. Die aktive Beteiligung des Centers an der Organisation und Ausgestaltung der 7. internationalen Konferenz »Production Engineering 2011 - Innovations and Technologies of the Future« führte ebenfalls zur direkten Ansprache potentieller Projektpartner. Dem nationalen als auch internationalen Publikum aus Industrie und Wissenschaft wurden neuste Entwicklungen auf dem Gebiet der Fertigungstechnik vorgestellt.

www.iws.fraunhofer.de/de/standorte/wroclaw_polen.html

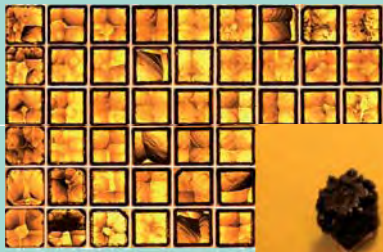


Das gemeinsame Projekt »RemCoVis« hat die Entwicklung von Lösungen für die Beobachtung und Visualisierung von Remote-Prozessen zum Ziel. Der zunehmende industrielle Einsatz der Laserbearbeitung »aus der Ferne« generiert die Notwendigkeit von Visualisierungslösungen. Für die Wellenlängen der Festkörperlaser werden entsprechende Systeme angeboten. Für Anwendungen mit CO₂-Laser fehlen diese nahezu vollständig. Die Herausforderung ergibt sich insbesondere aus dem großen Unterschied zwischen Bearbeitungs- und Beobachtungswellenlänge, wenn eine koaxiale Strahlführung gefordert ist. Die Kompetenzen des Center for Advanced Manufacturing Technologies der Technischen Universität Wrocław auf den Gebieten Bildverarbeitung, visuelle Inspektion und Optikauslegung werden mit der Lasermaterialbearbeitungskompetenz des Fraunhofer IWS kombiniert.

Die Arbeiten konzentrieren sich auf die Implementierung von Monitoring und Sensorsystemen in Scannerköpfe, um somit die Qualität der Bearbeitung zu verbessern und zu optimieren. Als Anwendungen wurden insbesondere das Hochgeschwindigkeits-Trennen und Abtragen von Geweben, Nichtmetallen und Verbundwerkstoffen identifiziert. Die begonnenen Entwicklungen sollen eine Möglichkeit des Teachens während der Prozesseinrichtung schaffen, das Einfahren/Einrichten neuer Bauteile beschleunigen bzw. erleichtern, durch Beobachtung das Prozessverständnis und die -stabilität verbessern, sowie ein Werkzeug zur Qualitätserfassung und -sicherung zur Verfügung stellen. Die Vision besteht in selbstlernenden und geregelten Remote-Prozessen. Die Grundlagen dafür werden in diesem gemeinsamen Projekt gelegt.

Das zweite gemeinsame Projekt »Bioreactor« bringt die Kompetenzen des Rapid-Prototypings des CAMT und der Biotechnik des Fraunhofer IWS zusammen. Die Vaskularisierung, d. h. die kontrollierte Neubildung von Blutkapillaren, ist eine der größten Herausforderungen der Gewebezüchtung. Es ist Stand der Technik lebende Zellen auf und in dreidimensionalen Scaffold-Strukturen einzubringen und in Zellkultursystemen für mehrere Wochen am Leben zu halten. Nach der Implantation eines solchen Konstrukts sterben jedoch die meisten Zellen ab, da die Neubildung von Blutkapillaren zu langsam abläuft und es somit zu einer Unterversorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen kommt. Die Herausforderung liegt daher in der Herstellung einer künstlichen Gewebestruktur, welche ein Gefäßsystem bereitstellt und direkt und einfach an die Blutversorgung des Körpers angeschlossen werden kann.

Ziel dieses Projektes ist die gemeinsame Entwicklung eines implantierbaren Bioreaktors der direkt an ein Blutgefäßsystem angeschlossen werden kann. Der Bioreaktor besteht aus einem biokompatiblen Gehäuse, in dem sich ein mit Zellen besiedeltes Scaffold befindet. Des Weiteren besitzt dieser zwei definierte Schnittstellen, welche die Anbindung einer Vene und einer Arterie ermöglichen. Das Gehäuse muss initial flüssigkeitsdicht sein, sodass die Zellen im Inneren mit Nährstoffen und Sauerstoff versorgt werden können, der Blutkreislauf aber nicht geöffnet wird. Mit dieser Technologie könnten Zellen im Patienten fehlende Substanzen wie Insulin (Diabetes) oder Dopamin (Morbus Parkinson) produzieren. Die Arbeiten konzentrieren sich auf die Entwicklung verschiedener Materialkombinationen und Reaktordesigns.



FRAUNHOFER CENTER FOR COATINGS AND LASER APPLICATIONS (CCL)

Für die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung ist der US-amerikanische Markt einer der wichtigsten internationalen Benchmarks und Innovationsmotoren. Aus diesem Grunde konzentriert das Fraunhofer IWS Dresden seine USA-Aktivitäten seit 1997 im »Fraunhofer-Center for Coatings and Laser Applications CCL«.

Das Fraunhofer-Center for Coatings and Laser Applications CCL spiegelt die Hauptaktivitäten des IWS, die Laser- und die Schichttechnologie, wider. Mit einem Jahresumsatz von 4,2 Mio. US-\$ ist das Center eines der umsatzstärksten Fraunhofer-Center in den USA. Seit 2003 wird das CCL von Dr. Jes Asmussen, Professor an der Michigan State University, geleitet. Seine bisherigen Arbeiten auf dem Gebiet der Diamantbeschichtung und -herstellung ergänzen in idealer Weise das Know-how des IWS auf dem Gebiet der Diamor®-Beschichtungen.

Das CCL hat zwei Divisions, die »Coating Technology Division« an der Michigan State University in East Lansing und die »Laser Applications Division« mit Sitz im Gebäude des Headquarters von Fraunhofer USA in Plymouth, Michigan.

Coating Technology Division

Unter Leitung von Prof. Jes Asmussen und Dr. Thomas Schülke arbeiten in Lansing erfahrene Fraunhofer-Forscher und deutsche Studenten gemeinsam mit Fakultätsmitgliedern und Studenten der Michigan State University an neuen Lösungen auf folgenden Forschungsgebieten:

- Beschichtung mit amorphen diamantähnlichen Kohlenstoffschichten,
- chemische Gasphasenabscheidung von ultranano-, poly- und einkristallinen Diamanten,
- Diamantdotieren,
- physikalische Gasphasenabscheidung von amorphem Diamant.

Für die Beschichtung mit amorphen diamantähnlichen Kohlenstoffschichten kommt das im IWS Dresden entwickelte Laser-Arc-Verfahren zum Einsatz. Seit einigen Jahren verbessert das CCL die Lebensdauer von Werkzeugen vor allem für die Aluminiumbearbeitung durch das Aufbringen der amorphen diamantähnlichen Kohlenstoffschichten. Bei der Beschichtung von Motor-, Antriebs- und Bremsenkomponenten kooperiert das Fraunhofer-Center eng mit dem Michigan State Formula Racing Team. Die Zusammenarbeit bietet dem Racing Team Wettbewerbsvorteile und den Forschern des CCL Hinweise zur Schichtoptimierung basierend auf höchsten realen Bauteilbeanspruchungen.

In den letzten Jahren konnte sich die Coating Technology Division in Lansing vor allem mit Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Synthese und Dotierung von einkristallinen Diamanten durch mikrowellen-basierte chemische Gasphasenabscheidung international etablieren.

Laser Applications Division

Die Lasergruppe des CCL ist in Plymouth (Michigan) in unmittelbarer räumlicher Nähe zur amerikanischen Autoindustrie von Detroit angesiedelt. Die Gruppe führt zahlreiche Projekte zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen aus dem Antriebsstrang aus, insbesondere das Fügen von Differentialen, Getrieben und Antriebswellen. Für seine Entwicklungen zur Verbesserung der Dachfestigkeit von Super Trucks durch Laserstrahlschweißen erhielt das CCL im Jahr 2007 den Henry Ford Technology Award.

Die Entwicklung, Patentierung und Lizenzierung eines Verfahrens zum Laser-Auftragschweißen von Schichten höchster abrasiver Verschleißfestigkeit, basierend auf nahezu Millimeter großen synthetischen Diamantpartikeln und metallischem Binder, stellt ein Highlight der Forschungsarbeiten dar. Die Technologie findet Anwendung für Bohrausrüstungen in der Ölförderindustrie der USA und Kanadas.

Die enge Vernetzung mit dem Fraunhofer CCL bietet dem IWS mehrere Vorteile. Über Angebot und Nachfrage werden neue Trends und Entwicklungen in den USA schneller erkannt, wodurch die Entwicklungsrichtungen im IWS beeinflusst werden. Durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den USA entsteht zusätzliches Know-how und eine erweiterte Kompetenz, welche der Akquisition auf dem deutschen und europäischen Markt zugute kommt. Durch einen zeitweisen Aufenthalt von IWS-Mitarbeitern in den USA werden Erfahrungen gesammelt, die dem Mitarbeiter während seiner gesamten beruflichen Laufbahn zugute kommen.

www.ccl.fraunhofer.org

CENTER DIRECTOR CCL / USA

PROF. JES ASMUSSEN

Telefon +1 517 355 4620
jasmussen@fraunhofer.org



LEITER DER DIVISION COATING TECHNOLOGY

DR. THOMAS SCHÜLKE

Telefon +1 517 432 8173
tschuelke@fraunhofer.org

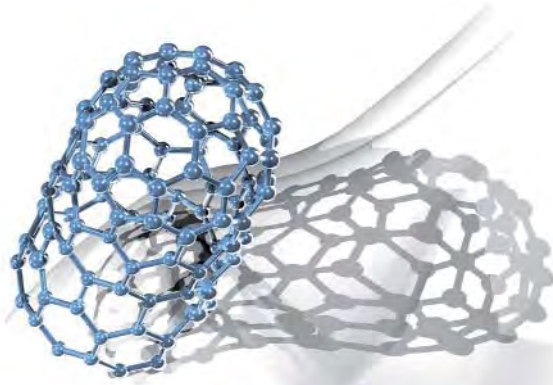


LEITER DER DIVISION LASER APPLICATIONS

CRAIG BRATT

Telefon +1 734 738 0550
cbratt@fraunhofer.org





nano for production

NANOTECHNOLOGIE-AKTIVITÄTEN

Von der Nanotechnologie können alle Branchen profitieren - vom Autobau bis zur Medizintechnik. Damit die Forschungsergebnisse dieser Zukunftstechnologie in Deutschland schneller und besser in Anwendungen umgesetzt werden, kooperieren Forscher und Unternehmer. In Dresden, einem erfolgreichen Standort für Nanotechnologie, arbeiten Firmen und Forschungseinrichtungen seit November 2006 im **Nanotechnologie-Innovationscluster »nano for production«** zusammen. Ziel der Arbeit des Innovationsclusters ist es, nanotechnologische Entwicklungen aus dem Stadium der Grundlagenforschung an die Schwelle zur industriellen Einführung zu bringen und damit die Voraussetzungen für eine breite wirtschaftliche Nutzung zu schaffen. Zum anderen werden wesentliche Elemente der Nanoproduktionstechnik entwickelt, erprobt und für einen weiten Anwenderkreis zugänglich gemacht.

Zur konsequenten Erschließung dieser industriellen Anwendungsmöglichkeiten haben sich im September 1998 51 Unternehmen, 10 Hochschulinstitute, 22 außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und 5 Verbände im **Nanotechnologie-Kompetenzzentrum »Ultradünne funktionale Schichten«** zusammengeschlossen, welches vom BMBF als bundesweites Kompetenzzentrum für den Bereich ultradünne funktionale Schichten ausgezeichnet wurde. Die Arbeiten des Kompetenzzentrums konzentrieren sich auf den Bereich der Öffentlichkeitsarbeit (z. B. Teilnahme an Messen, Unterstützung und Durchführung von Veranstaltungen) bis hin zur Ausschreibung und Förderung von Machbarkeitsstudien.

Im Rahmen der Nanotechnologie-Aktivitäten war das IWS in den letzten Jahren Organisator der »Nanofair – Internationales Nanotechnologie-Symposium«, welche am 6. und 7. Juli 2010

PROJEKTKOORDINATION

PROF. ANDREAS LESON

Telefon +49 351 83391-3317
andreas.leson@iws.fraunhofer.de



KOMPETENZZENTRUM

DR. RALF JÄCKEL

Telefon +49 351 83391-3444
ralf.jaekel@iws.fraunhofer.de



INNOVATIONSCLUSTER

DR. OTMAR ZIMMER

Telefon +49 351 83391-3257
otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de



www.nanotechnology.de
www.fraunhofer.de/de/institute-einrichtungen/innovationscluster/Nano-Production.html

zum 8. Mal stattfand. Bereits jetzt wird die 9. Nanofair vorbereitet, die am 12. und 13. Juni 2012 im Internationalen Kongresszentrum Dresden in der gemeinsamen Trägerschaft der Landeshauptstadt Dresden, Amt für Wirtschaftsförderung und des Fraunhofer IWS Dresden stattfinden wird.



LASERINTEGRATION IN DIE FERTIGUNGSTECHNIK - INITIATIVE LiFT

Sachsens Potenziale des Maschinen- und Anlagenbaus durch die Lasertechnik nachhaltig und flächendeckend erweitern und Wettbewerbsfähigkeit sichern - diesem Anspruch stellt sich die **Initiative LiFT**, die 2007 als Sieger aus dem Innovationswettbewerb »Wirtschaft trifft Wissenschaft« des Bundesverkehrsministeriums (BMVBS) hervorging und bis 2010 gefördert wurde. Nach der Phase wurden als ungeförderete Netzwerkaktivität weitere innovative Technologien entwickelt.

Das Fraunhofer IWS Dresden kooperiert in LiFT mit der Hochschule Mittweida (FH) und dem Institut für innovative Technologien, Technologietransfer, Ausbildung und berufsbegleitende Weiterbildung (ITW) e. V. Chemnitz, um den Transfer entwickelter Technologien auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung in Innovationen, also in wirtschaftliche Anwendungen voranzutreiben.

Ziel der Netzwerkstruktur ist es, Potenziale zu zeigen, Leistungen anzubieten und die erreichbaren Vorteile für die Maschinen- und Anlagenbauer sowie Fertiger aufzuzeigen. Vorteile können sein:

- Zeit- und Kosteneinsparung durch Verkürzung der Prozessketten,
- höhere Effizienz der Fertigungsverfahren und Produkte,
- höhere Qualität, Marktfähigkeit der Produkte,
- Alleinstellungsmerkmal technischen Höchststands.

Als Technologieentwickler und Wissensvermittler stehen die Projektpartner der Initiative LiFT den kleineren und mittelständischen Unternehmen aus Sachsen aber auch aus anderen Regionen anwendungsfallbezogen zur Verfügung.

PROJEKTKOORDINATION

DR. STEFFEN BONSS

Telefon +49 351 83391-3201
steffen.bonss@iws.fraunhofer.de



ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

CLAUDIA ZELLBECK

Telefon +49 351 83391-3332
claudia.zellbeck@iws.fraunhofer.de



www.laserintegration.de
www.iws.fraunhofer.de

Die Nachfrage nach Laseranwendungen steigt. Kernpunkt der Netzwerkaktivitäten 2011 waren wiederum Beratungen im Fraunhofer IWS und bei Interessenten vor Ort. Dies gehört zu den Kernaufgaben des Projektes. Verstärkt werden europäische Kontakte, gemeinsam mit Partnern aus der Wirtschaft.



IWS

IPM

ILT

IST

FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

KOMPETENZ DURCH VERNETZUNG

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Light & Surfaces. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die Erfordernisse in den verschiedensten Anwendungsfeldern zur Lösung aktueller und zukünftiger Herausforderungen, insbesondere in den Bereichen Energie, Umwelt, Produktion, Information und Sicherheit. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten zum Nutzen der Kunden.

KERNKOMPETENZEN DES VERBUNDS

- Beschichtung & Oberflächenfunktionalisierung
- Laserbasierte Fertigungsverfahren
- Laserentwicklung & Nichtlineare Optik
- Materialien der Optik & Photonik
- Mikromontage & Systemintegration
- Mikro- & Nanotechnologien
- Kohlenstofftechnologie
- Messverfahren & Charakterisierung
- Ultrapräzisionsbearbeitung
- Werkstofftechnologien
- Plasma- & Elektronenstrahlquellen

KONTAKT

Verbundvorsitzender
Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Verbundassistentin
Susan Oxfart
Telefon: +49 3641 807-207

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ELEKTRONENSTRAHL- UND PLASMATECHNIK FEP, DRESDEN

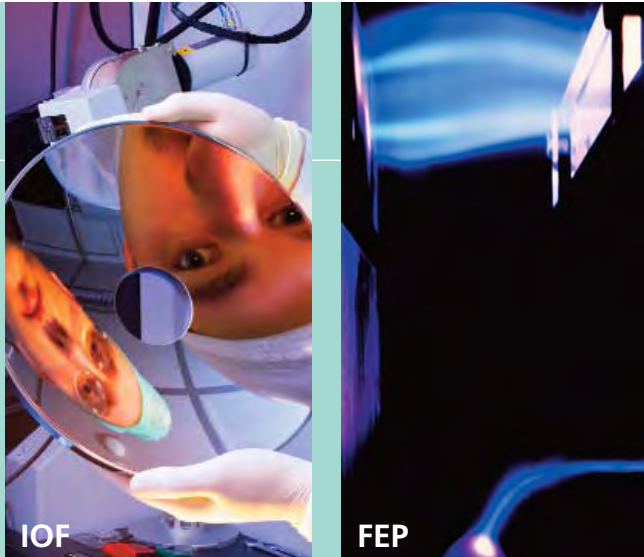
Die Kernkompetenzen des Fraunhofer FEP sind die Elektronenstrahltechnologie, die plasmaaktivierte Hochratebedampfung und die Hochrate-PECVD. Die Arbeitsgebiete umfassen die Vakuumbeschichtung sowie die Oberflächenbearbeitung und -behandlung mit Elektronen und Plasmen. Neben der Entwicklung von Schichtsystemen, Produkten und Technologien ist ein wichtiger Schwerpunkt die Aufskalierung der Technologien für die Beschichtung und Behandlung großer Flächen mit hoher Produktivität.

www.fep.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT, AACHEN

Seit 1985 ist das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u.a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und das Rapid Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik.

www.ilt.fraunhofer.de



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE OPTIK UND FEINMECHANIK IOF, JENA

Das Fraunhofer IOF entwickelt zur Bewältigung drängender Zukunftsfragen in den Bereichen Energie und Umwelt, Information und Sicherheit sowie Gesundheit und Medizintechnik Lösungen mit Licht. Die Kompetenzen umfassen die gesamte Prozesskette vom Optik- und Mechanik-Design über die Entwicklung von Fertigungsprozessen für optische und mechanische Komponenten sowie Verfahren zur Systemintegration bis hin zur Fertigung von Prototypen. Schwerpunkte liegen auf den Gebieten multifunktionale optische Schichtsysteme, Mikro- und Nanooptik, Festkörperlichtquellen, optische Messsysteme und opto-mechanische Präzisionssysteme.

www.iof.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE MESSTECHNIK IPM, FREIBURG

Fraunhofer IPM entwickelt und realisiert optische Sensor- und Belichtungssysteme. Bei den vorwiegend Laser-basierten Systemen sind Optik, Mechanik, Elektronik und Software ideal aufeinander abgestimmt. Die Lösungen sind besonders robust ausgelegt und jeweils individuell auf die Bedingungen am Einsatzort zugeschnitten. Auf dem Gebiet der Thermoelektrik verfügt das Institut über Know-how in Materialforschung, Simulation und Systemen. In der Dünnschichttechnik arbeitet Fraunhofer IPM an Materialien, Herstellungsprozessen und Systemen.

www.ipm.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SCHICHT- UND OBERFLÄCHENTECHNIK IST, BRAUNSCHWEIG

Das Fraunhofer IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung, Schichtcharakterisierung und Oberflächenanalyse. Wissenschaftler, Techniker und Ingenieure arbeiten daran, Oberflächen der verschiedensten Grundmaterialien neue oder verbesserte Funktionen zu verleihen, um auf diesem Wege innovative, marktgerechte Produkte zu schaffen. Das Institut ist in folgenden Geschäftsfeldern tätig: Maschinen- und Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Werkzeuge, Energie, Glas und Fassade, Optik, Information und Kommunikation, Mensch und Umwelt.

www.ist.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLENTECHNIK IWS, DRESDEN

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS steht für Innovationen in den Geschäftsfeldern Fügen, Trennen sowie Oberflächentechnik und Beschichtung. Die Besonderheit des Fraunhofer IWS liegt in der Kombination eines umfangreichen werkstofftechnischen Know-hows mit weitreichenden Erfahrungen in der Entwicklung von Technologien und Systemtechnik. Zahlreiche Lösungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung und Schichttechnik finden jedes Jahr Eingang in die industrielle Fertigung.

www.iws.fraunhofer.de

BESONDERE EREIGNISSE

02.-03. MÄRZ 2011

Workshop »Laser + Blech« des Carl-Hanser-Verlages in Garching bei München
(Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

23.-24. MÄRZ 2011

TAW-Symposium »Thermisches Beschichten mit laserbasierten Fertigungsverfahren« der Technischen Akademie Wuppertal e.V. in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IWS Dresden und der Rofin Sinar GmbH in Dresden

14. APRIL 2011

Veranstaltung »Dutch-German Seminar on Energy Innovations - Connecting PV Industries from Saxony and the Netherlands« im Fraunhofer-Institutszentrum Dresden im Rahmen des Besuchs Ihrer Majestät Königin Beatrix der Niederlande und Ihrer Königlichen Hoheiten Prinz Willem-Alexander von Oranien und Prinzessin Maxima der Niederlande

14. APRIL 2011

Beteiligung des Fraunhofer-Institutszentrums am bundesweiten »Girls Day«

20. APRIL 2011

Infotag »MOF - Metal Organic Frameworks« im Fraunhofer IWS Dresden (in Kooperation mit der Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH)

11.-13. MAI 2011

Dresdner Konferenz »Zukunft Energie« im Internationalen Kongresszentrum Dresden (Organisatoren: Fraunhofer IWS Dresden, DRESDEN-concept, Landeshauptstadt Dresden)

13. MAI 2011

»Technology Day Dresden« - 7. Treffen der ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IWS Dresden und des Lehrstuhls LOT der TU Dresden

01. JULI 2011

Beteiligung des Fraunhofer-Institutszentrums an der »Langen Nacht der Wissenschaften« der Landeshauptstadt Dresden

17.-20. OKTOBER 2011

V2011 - Industrieausstellung und Workshopwoche »Vakuumbeschichtung und Plasmaoberflächentechnik« der Europäischen Forschungsgesellschaft »Dünne Schichten« (EFDS) e.V.
(Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

03. NOVEMBER 2011

Workshop »Carbon Materials for Electrodes«
(Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

09. NOVEMBER 2011

2. Statusseminar »Elektromobilität« des BMBF im Rahmenkonzept »Forschung für die Produktion von morgen« im Fraunhofer IWS Dresden
(Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

17.-18. NOVEMBER 2011

Technologieaudit am Fraunhofer IWS Dresden

23. NOVEMBER 2011

Workshop »MOF for industrial applications« in Bergamo, Italien (Organisatoren: Fraunhofer IWS Dresden, Institut für Anorganische Chemie der TU Dresden)

06. DEZEMBER 2011

Workshop »Amorphe Kohlenstoffschichten - tribologische Anwendungen und industrielle Herstellungsverfahren« der Europäischen Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS) im Fraunhofer IWS Dresden



VERÖFFENTLICHUNGEN

[L01]

F. Bartels, B. Suess, A. Wagner,
J. Hauptmann, A. Wetzig, E. Beyer

»Agility - Complexity Description in a new Dimension Applied for Laser Cutting«

International Conference on Lasers in Manufacturing (LIM), München, Hrsg.: M. Schmidt, Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik -WLT-: Lasers in Manufacturing, Proceedings, 23. - 26. Mai 2011, München, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 543-547 (Physics Procedia 12.2011, S. 1)

[L02]

M.M. Barbosa, D. Schneider,
R. Puschmann, F.-L. Toma,
L.-M. Berger

»Microstructural Investigation of Thermally Sprayed Ceramic Coatings by Laser Acoustic Surface Waves«

International Thermal Spray Conference & Exhibition ITSC (2011), 27. - 29. September 2011, Hamburg, Conference Proceedings, DVS-Berichte 276 (2011), S. 718-724, Tagungs-CD, ISBN 978-3-87155-268-7

[L03]

E. Beyer

»Fraction-Limited Fiber Lasers for Welding and Cutting«

European Conference on Lasers and Electro-Optics Europe, 12th European Quantum Electronics Conference CLEO Europe/EQEC (2011), 22. - 26. Mai 2011, München, Piscataway, NJ: IEEE, Nr. 2, S. 1241, ISBN 978-1-4577-0533-5, ISBN 978-1-4577-0532-8

[L04]

E. Beyer

»High Performance Laser Cladding«

Laser Insights webpage:
<https://www.lia.org/laserinsights/2011/05/06/high-performance-laser-cladding/#more-1035>, Mai 2011

[L05]

L.-M. Berger

»Thermisch gespritzte Hartmetallschichten – ein Überblick«

Tribologie in Industrie und Forschung: Werkstoff- und Energieeffizienz - Herausforderung und Lösungsansätze, Symposium der Österreichischen Tribologischen Gesellschaft (2011), Hrsg.: F. Franek, A. Pauschitz, 24. November 2011, Wiener Neustadt, Österreich, S. 27-38, ISBN 978-3-901657-40-5

[L06]

L.-M. Berger, K. Lipp, J. Spatzier,
J. Bretschneider

»Dependence of the Rolling Contact Fatigue of HVOF-Sprayed WC-17%Co Hardmetal Coatings on Substrate Hardness«

18th International Conference on Wear of Materials (WOM), Philadelphia, USA, 4. - 7. April 2011, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 2080-2088, ISSN 0043-1648 (Wear 271 (2011), Nr. 9/10)

[L07]

E. Beyer, L. Lahn, C. Schepers,
T. Stucky

»The Influence of Compressive Stress Applied by Hard Coatings on the Power Loss of Grain Oriented Electrical Steel Sheet«

Journal of Magnetism and Magnetic Materials 323 (2011), Nr. 15, S. 1985-1991

[L08]

E. Beyer, A. Mahrle, M. Lütke,
F. Bartels, J. Standfuss, F. Brückner

»Innovation and Invention with High Brightness Lasers«

The Laser User Magazine, Issue 63 (2011), S. 30-33

[L09]

E. Beyer, S. Nowotny, F. Brückner,
H. Hillig, A. Techel

»New Industrial Systems for High Performance Laser Cladding«

LIA Today Vol. 19 (2011) 4, S. 18-20

[L10]

E. Beyer, I. Jansen, R. Rechner,
F. Wehnert

»Untersuchungen zu nanopartikelbasierten Klebverbindungen«

Konferenz »Zukunft Energie«, 11.-13. Mai 2011, Dresden

[L11]

S. Bonß, J. Hannweber,
U. Karsunke, S. Kühn, M. Seifert,
E. Beyer

»Laser Heat Treatment with Latest System Components«

30th International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO), 24.-27. Oktober 2011, Orlando (FL), USA, paper 905 (2011), S. 463-472, Tagungs-CD, ISBN 978-0-912035-94-9

[L12]

H.-P. Bossmann, F. Brückner,
S. Gebhard, S. Hatzl, V. Kochubey,
C. Mundt, B. Rittmeister, R. Vassen

»Innovative multifunktionale Schichtsysteme für hocheffiziente Gasturbinen«

WING-Konferenz (2011), 4.-6. Oktober 2011, Berlin, Tagungsband

[L13]

S. Braun, P. Gawlitza, M. Menzel,
W. Friedrich, J. Schmidt, A. Leson

»Spiegel für extrem ultraviolette und Röntgenstrahlung«

V2011 Industrieausstellung & Workshop-Woche, Tagungsband, S. 141

[L14]

F. Brückner, S. Nowotny, H. Hillig,
F. Kubisch, M. Riede, S. Thieme,
E. Beyer

»Industrial Solutions and System Components in Laser Additive Manufacturing«

Conference - Industrial Laser Applications, 29. - 30. März 2011, Pilsen (Cz), Tagungsband

[L15]

F. Brückner, S. Nowotny, M. Riede,
E. Beyer

»Herstellung hochpräziser metallischer 3D-Strukturen durch Auftragschweißen mit brillanten Strahlquellen«

4. TAW-Syposium »Thermisches Beschichten mit laserbasierten Fertigungsverfahren«, 23. - 24. März 2011, Dresden, Tagungsband

[L16]

F. Brückner, S. Nowotny, M. Riede,
C. Leyens, E. Beyer

»Stabilitätsverbesserung von Wärmedämmschichten durch strukturierte Substratoberflächen mit Hilfe des Präzisions-Laser-Pulver-Auftragschweißens«

Workshop »Materialien und Prozesstechniken der Turbinenschaufelbeschichtung«, 15. März 2011, Dresden, Hrsg.: V. Kirchhoff, Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. -EFDS-: Materialien und Prozesstechniken der Turbinenschaufelbeschichtung, Tagungsband, S. 10

- [L17]**
A. Cramer, S. Landgraf, E. Beyer, G. Gerbeth
»Marangoni Convection in Molten Salts : Physical Modelling Toward Lower Prandtl Numbers«
Experiments in fluids 50 (2011), Nr. 2, S. 479-490
- [L18]**
N. Danz, A. Kick, F. Sonntag, S. Schmieder, B. Höfer, U. Klotzbach, M. Mertig
»Surface Plasmon Resonance Platform Technology for Multi Parameter Analyses on Polymer Chips«
Eng. Life Sci. 11 (2011), S. 566 - 572,
DOI: 10.1002/elsc.201000192
- [L19]**
N. Danz, A. Kick, F. Sonntag, S. Schmieder, M. Mertig, U. Klotzbach
»SPR Technologie zur Multi-Parameter-Analyse auf polymeren Chips«
MikroSystemTechnik Kongress (2011), S. 741,
ISBN 978-3-8007-3367-5
- [L20]**
N. Danz, F. Sonntag, S. Schmieder, B. Höfer, U. Klotzbach
»Parallele SPR Technologie auf polymeren Chips«
7. Deutsches BioSensor Symposium (2011), S. 67,
ISBN 978-3-00-034073-4
- [L21]**
C. Demuth, M. Bieda, A. F. Lasagni, A. Mahrle, A. Wetzig, E. Beyer
»Thermal Simulation of Pulsed Direct Laser Interference Patterning of Metallic Substrates Using the Smoothed Particle Hydrodynamics Approach«
Journal of Materials Processing Technology (2011), DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2011.10.023
- [L22]**
G. Dietrich, M. Rühl, S. Braun, A. Leson
»Hochpräzise Fügungen mittels reaktiven Nanometermultischichten«
Vakuum in Forschung und Praxis 12 (2011)
- [L23]**
D. Dittrich
»Innovative laserbasierte Fügetechnologien für den modernen Leichtbau«
Laser+Blech, 2.-3. März 2011, Garching, Tagungs-CD
- [L24]**
D. Dittrich, B. Brenner, A. Jahn, J. Standfuß und J. Liebscher
»Neue verfahrens- und systemtechnische Entwicklungen für das Laserstrahlschweißen von großformatigen Bauteilen«
Große Schweißtechnische Tagung, 27. – 29. September 2011, Hamburg, DVS-Berichte 275, S. 193 - 198,
ISBN 978-3-87155-267-0
- [L25]**
D. Dittrich, J. Standfuß, J. Liebscher, B. Brenner, E. Beyer
»Laser Beam Welding of Hard to Weld Al Alloys for a Regional Aircraft Fuselage Design - First Results«
International Conference on Lasers in Manufacturing (LIM), München, Hrsg.: M. Schmidt, Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik -WLT-: Lasers in Manufacturing, Proceedings, 23. – 26. Mai 2011, München, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 113-122
(Physics Procedia 12.2011, S. 1)
- [L26]**
S. Dörfler, H. Althues, S. Kaskel
»Auf zu höheren Energiedichten - Kohlenstoffnanoröhren als Material für die Energietechnik«
Nanoenergie Newsletter Cenide 6 (2011)
- [L27]**
S. Dörfler, A. Meier, S. Thieme, P. Nemeth, H. Althues, S. Kaskel
»Wet-Chemical Catalyst Deposition for Scalable Synthesis of Vertical Aligned Carbon Nanotubes on Metal Substrates«
Chemical Physics Letters 511 (2011), Nr. 4-6, S. 288-293
- [L28]**
J. Dubsky, P. Chraska, B. Kolman, C.C. Stahr, L.-B. Berger
»Phase Formation Control in Plasma Sprayed Alumina-Chromia Coatings«
Ceramics – Silikáty (2011), Vol. 55, Nr. 3, S. 295-301,
ISSN 0862-5468
- [L29]**
M. Falz, M. Holzherr, T. Schmidt, H.-J. Scheibe, A. Leson, M. Leonhardt, C.-F. Meyer
»ta-C-Beschichtung in einer industriellen Hartstoffbeschichtungsanlage«
V2011 Industrieausstellung & Workshop-Woche, Tagungsband, S. 61
- [L30]**
K. Florschütz, F. Sonntag, A. Schröter, S. Schmieder, U. Klotzbach, G. Kunze
»On-Chip-Nachweis von phytopathogenen RNA-Viren und miRNA mittels Oberflächenplasmonenresonanz«
Sensorforschung für Medizin und Technik - Ergebnisse aus Projekten der industriellen Gemeinschaftsforschung, SENSOR und TEST 2011, Juni 2011, Nürnberg, S. 35-40
- [L31]**
R. Frenzel, I. Jansen, T. Schiefer, F. Simon
»Haftvermittlung durch Polyelektrolytbeschichtung auf laserstrukturierter Leichtmetalloberflächen«
19. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium (NDVaK), 19. - 20. Oktober 2011, Dresden, Tagungsband, S. 106
- [L32]**
V. Fux, B. Brenner, A. Berger, J. Kaspar
»Laserinduktionswalzplattieren - ein neues Verfahren zum Herstellen von Werkstoffverbunden und Verbundhalbleitungen«
18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, 30. März - 01. April 2011, Chemnitz, Tagungsband, S. 366-371
- [L33]**
V. Fux, B. Brenner, A. Berger, J. Kaspar, T. Schneider, K. Merz
»Laserinduktionswalzplattieren«
18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, 30. März - 01. April 2011, Chemnitz, Hrsg.: B. Wielage, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V. -DGM-, Oberursel, TU Chemnitz, Tagungsband, S. 366-371
- [L34]**
M. Gruchow, U. Marx, S. Hoffmann, S. Brincker, T. Gehring, S. Howitz, N. Schilling, S. Schmieder, F. Sonntag, U. Klotzbach
»Autarkes Biochipsystem mit integrierter Aktorik und Sensorik«
7. Deutsches BioSensor Symposium (2011), S. 63,
ISBN 978-3-00-034073-4
- [L35]**
J. Hannweber, A. Galant, S. Bonß, B. Brenner, E. Beyer
»A Beam Monitoring System for Large and Scanned Laser Spots - LASMON«
30th International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO), 24.-27. Oktober 2011, Orlando (FL), USA, paper 208 (2011), S. 125-128, Tagungs-CD, ISBN 978-0-912035-94-9
- [L36]**
A. Henseleit, S. Schmieder, T. Bley, F. Sonntag, N. Schilling, P. Quenzel, N. Danz, U. Klotzbach, E. Boschke
»A Compact and Rapid Aptasensor Platform Based on Surface Plasmon Resonance«
Eng. Life Sci. 11 (2011), S. 573-579,
DOI: 10.1002/elsc.201100036
- [L37]**
A. Henseleit, S. Schmieder, F. Sonntag, U. Klotzbach, U. Marx, S. Hofmann, E. Boschke
»SPR-basierte Immunosensoren - Universelles Immobilisierungsprotokoll von Antikörpern zur spezifischen Antigen-Detektion«
Dresdner Beiträge Sensortechnik (2011),
ISBN: 978-3-942710-53-4
- [L38]**
P. Herwig, U. Klotzbach, M. Walther, J. Hauptmann, A. Wetzig, E. Beyer
»Aberrations Induced by High Brightness Lasers«
International Conference on Lasers in Manufacturing (LIM), München, Hrsg.: M. Schmidt, Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik -WLT-: Lasers in Manufacturing, Proceedings, 23. – 26. Mai 2011, München, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 779-786
(Physics Procedia 12.2011, S. 1)

[L39]

J. Hohe, B. Beckmann,
M. Reinfried, F. Luthardt

»Numerische Bestimmung der makroskopischen Eigenschaften hybrider Schäume«

18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, 30. März - 01. April 2011, Chemnitz, Hrsg.: B. Wielage, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V. -DGM-, Oberursel, TU Chemnitz, Tagungsband, S. 543-548

[L40]

S. Houdkova, F. Zahalka,
M. Kasparova, L.-M. Berger

»Comparative Study of Thermally Sprayed Coatings under Different Types of Wear Conditions for Hard Chromium Replacement«

Tribology letters 43 (2011), Nr. 2, S. 139-154

[L41]

A. Jahn, M. Heitmanek,
J. Standfuß, B. Brenner,
G. Wunderlich, B. Donat

»Local Laser Strengthening of Steel Sheets for Load Adapted Component Design in Car Body Structures«

International Conference on Lasers in Manufacturing (LIM), München, Hrsg.: M. Schmidt, Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik -WLT-: Lasers in Manufacturing, Proceedings, 23. - 26. Mai 2011, München, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 431-441 (Physics Procedia 12.2011, S. 1)

[L42]

A. Jahn

»Umformbarkeit laserinduktionsgeschweißter Strukturen aus höherfesten Stahlfeinblechen«

Fraunhofer Verlag (2011), Stuttgart, Zugl.: TU Dresden, Diss. (2011) ISBN 3-8396-0307-2, ISBN 978-3-8396-0307-9

[L43]

I. Jansen, R. Rechner, F. Wehnert

»Energieeffizientes Fügen mit nanopartikelbasierten Klebstoffen«

Konferenz »Zukunft Energie«, 11. - 13. Mai 2011, Dresden, Tagungsband, S. 103

[L44]

I. Jansen, R. Rechner

»Lasereinsatz bei Klebprozessen«

11. Kooperationsforum »Kleben im Automobilbau«, 24. März 2011, Nürnberg, Tagungsband

[L45]

I. Jansen, I. Dani, L. Kotte

»Oberflächenbehandlung für Klebprozesse«

Workshop » Atmosphärendruck - Plasmatechnologien zur Großflächenbehandlung«, 27. Januar 2011, Dresden, Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. -EFDS-: Atmosphärendruck - Plasmatechnologien zur Großflächenbehandlung, Tagungsband, S. 15

[L46]

A. Klotzbach

»Remotebearbeitung von Polymeren mit hohen Laserleistungen«

Photonik 43 (2011), Nr. 2, S. 42-45

[L47]

A. Kick, M. Bönsch, A. Herr,
W. Brabetz, M. Jung, F. Sonntag,
M. Mertig

»Oberflächenplasmonenresonanzspektroskopie für die Echtzeitanalyse von DNA-Mikroarrays«

7. Deutsches BioSensor Symposium (2011), S. 34 ISBN 978-3-00-034073-4

[L48]

A. Klotzbach, M. Hauser, E. Beyer

»Laser Cutting of Carbon Fiber Reinforced Polymers using Highly Brilliant Laser Beam Sources«

International Conference on Lasers in Manufacturing (LIM), München, Hrsg.: M. Schmidt, Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik -WLT-: Lasers in Manufacturing, Proceedings, 23. - 26. Mai 2011, München, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 572-577 (Physics Procedia 12.2011, S. 1)

[L49]

M. Krätzsch, J. Standfuß,
A. Klotzbach, J. Kaspar, B. Brenner,
E. Beyer

»Laser Beam Welding with High-Frequency Beam Oscillation: Welding of Dissimilar Materials with Brilliant Fiber Laser«

30th International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO), 24. - 27. Oktober 2011, Orlando (FL), USA, paper 309 (2011), S. 169-178, Tagungs-CD, ISBN 978-0-912035-94-9

[L50]

M. Krätzsch, J. Standfuß,
A. Klotzbach, J. Kaspar, B. Brenner,
E. Beyer

»Laser Beam Welding with High-Frequency Beam Oscillation: Welding of Dissimilar Materials with Brilliant Fiber Laser«

International Conference on Lasers in Manufacturing (LIM), München, Hrsg.: M. Schmidt, Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik -WLT-: Lasers in Manufacturing, Proceedings, 23. - 26. Mai 2011, München, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 142-149 (Physics Procedia 12.2011, S. 1)

[L51]

D. Langheinrich, E. Yslas,
M. Broglia, V. Rivarola, D. Acevedo,
A. Lasagni

»Control of Cell Growth Direction by Direct Fabrication of Periodic Micro and Submicrometer Arrays on Polymers«

Journal of Polymer Science, DOI: 10.1002/polb.23049

[L52]

A.F. Lasagni

»New Trends for Two and Three Dimensional Structures«

Advanced Structured Materials Series, Vol. 10, S. 230, ISBN: 978-3-642-17781-1

[L53]

A.F. Lasagni

»Technology Vision: Current Developments and Challenges in Laser Patterning«

Surface engineering 27 (2011), Nr. 3, S. 149-150

[L54]

A. Lasagni, M. Bieda, A. Wetzig,
T. Roch, E. Beyer

»Direct Laser Interference Systems for the Surface Functionalization of Powertrain Components«

Proceedings of Global Powertrain Congress 2011, 64, ISSN 1543-9658

[L55]

A.F. Lasagni, M. Bieda, T. Roch,
D. Langheinrich

»Direct Fabrication of Periodic Structures on Surfaces. Laser Interference Patterning as new Scalable Industrial Tool«

Laser-Technik-Journal (2011), Nr. 1, S. 45-48

[L56]

A. F. Lasagni, D. Langheinrich,
T. Roch

»Fabrication of Circular Periodic Structures on Polymers Using High Pulse Energy Coherent Radiation and an Axicon«

Advanced engineering Materials, DOI: 10.1002/adem.201100177

[L57]

A.F. Lasagni, T. Roch,
D. Langheinrich, M. Bieda,
A. Wetzig

»Large Area Direct Fabrication of Periodic Arrays using Interference Patterning«

International Conference on Lasers in Manufacturing (LIM), München, Hrsg.: M. Schmidt, Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik -WLT-: Lasers in Manufacturing, Proceedings, 23. - 26. Mai 2011, München, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 214-220 (Physics Procedia 12.2011, S. 1)

[L58]

A. Leson, H.-J. Scheibe

»ta-C-Schichten zur Reibungsminderung - Ein Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz von Motor- und Getriebekomponenten«

Workshop »Oberflächentechnik für den Automobilbau«, 11. April 2011, Frankfurt/Main, Hrsg.: M. Hilt, Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. -EFDS-: Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V. -DECHEMA-, Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. -AIF-, Allianz Oberflächentechnik: Oberflächentechnik für den Automobilbau : Workshop der AIF-Allianz Oberflächentechnik

[L59]

A. Leson, S. Braun

»Ultradünn und funktional«

nanotechnologie aktuell, Ausgabe 4 (2011), S. 2-4

[L60]

E. Lopez, D. Linaschke, B. Dresler,
I. Dani, C. Leyens, E. Beyer

»Plasmachemisches Ätzen und Beschichten bei Atmosphärendruck. Anwendungen in der kristallinen Siliziumphotovoltaik«

Vakuum in Forschung und Praxis, Dezember (2011), Vol. 23, Nr. 6, S. 12-16

- [L61]**
R. Luther, F. Schlenkrich, T. Köckritz, L. Seffner, I. Jansen, A. Schönecker, A. Richter
»A Novel 'Seamless Integration' Technology Platform for Dielectric Elastomer Actuators«
12th International Conference on the Science and Application of Nanotubes, NT 11, 10. - 16. Juli 2011, Cambridge, CT 33, Tagungsstück
- [L62]**
M. Lütke
»Entwicklung des Remote-Laserstrahlchneidens metallischer Werkstoffe«
Fraunhofer Verlag (2011), Stuttgart, Zugl.: TU Dresden, Diss. (2011) ISBN: 978-3-8396-0359-8
- [L63]**
M. Lütke, F. Bartels, J. Hauptmann, A. Wetzig, E. Beyer
»The Energetic Efficiency of Remote Cutting in Comparison to Conventional Fusion Cutting«
Paper (102.0)
- [L64]**
M. Lütke, V. Franke, A. Techel, T. Himmer, U. Klotzbach, A. Wetzig, E. Beyer
»A Comparative Study on Cutting Electrodes for Batteries with Lasers«
International Conference on Lasers in Manufacturing (LIM), München, Hrsg.: M. Schmidt, Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik -WLT-: Lasers in Manufacturing, Proceedings, 23. - 26. Mai 2011, München, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 286-291 (Physics Procedia 12.2011, S. 1)
- [L65]**
A. Mahrle, M. Schnick, S. Rose, C. Demuth, E. Beyer, U. Füssel
»Process Characteristics of Fibre-Laser-Assisted Plasma Arc Welding«
Journal of Physics D: Applied Physics 44 (2011), 345502, S. 12pp, DOI: 10.1088/0022-3727/44/34/345502
- [L66]**
S. Matthews, J. Fendt, M. Hyland, L.-M. Berger
»Heat-Treatment Induced Microstructural Evolution of TiC-Based Hardmetal Coatings«
International Thermal Spray Conference & Exhibition ITSC (2011), 27. - 29. September 2011, Hamburg, Conference Proceedings, DVS-Berichte 276 (2011), S. 131-136, Tagungs-CD, ISBN 978-3-87155-268-7
- [L67]**
K. Müller, A. Nechwatal, M. Müller, I. Jansen
»Klarer Durchblick«
Kunststoffe 1 (2011), S. 66-70
- [L68]**
K. Müller, A. Nechwatal, M. Müller, I. Jansen
»Clearly Transparent«
Kunststoffe international 1 (2011), S. 43-46
- [L69]**
L. Müller-Meskamp, Y.-H. Kim, T. Roch, S. Hofmann, R. Scholz, S. Eckardt, K. Leo, A. Lasagni
»Efficiency Enhancement of Organic Solar Cells by Fabricating Periodic Surface Textures using Direct Laser Interference Patterning«
Advanced Materials, DOI: 10.1002/adma.201104331
- [L70]**
K. Niemi, J. Hakalahti, L. Hyvärinen, J. Laurila, P. Vuoristo, L.-M. Berger, F.-L. Toma, T. Shakhverdova
»Influence of Chromia Alloying on the Characteristics of APS and HVOF Sprayed Alumina Coatings«
International Thermal Spray Conference & Exhibition ITSC (2011), 27. - 29. September 2011, Hamburg, Conference Proceedings, DVS-Berichte 276 (2011), S. 1179-1184, Tagungs-CD, ISBN 978-3-87155-268-7
- [L71]**
S. Nowotny
»Current use of laser technology for build-up welding applications«
Surface engineering 27 (2011), Nr. 4, S. 231-233
- [L72]**
S. Nowotny
»Laser-Auftragschweißen: Präzision und Produktivität beim Beschichten, Generieren und Reparieren«
4. TAW-Syposium »Thermisches Beschichten mit laserbasierten Fertigungsverfahren«, 23. - 24. März 2011, Dresden, Tagungsband, S. 2-9
- [L73]**
M. Panzer, U. Klotzbach, W. Köhler, A. Schmid, E. Beyer
»Untersuchung von Kunstobjekten mit Terahertz-Zeitdomänenspektroskopie - Chancen und Herausforderungen eines neuen Messverfahrens«
Restaurio (2010), Callwey Verlag, München, Heft 8, S. 524-531, ISSN 0933-4017
- [L74]**
H. Perez-Hernandez, A. Lasagni
»Fast and Efficient Manufacturing Method of 1D and 2D Polyethylene Terephthalate Transmission Diffraction Gratings by Direct Laser Interference Patterning«
Polymer Engineering and Science
- [L75]**
R. Rechner, I. Jansen, E. Beyer
»Verbesserung des Siegelprozesses bei Li-Ionen-Batterien
Laser schlägt nasschemische Vorbehandlung«
JOT – Journal für Oberflächentechnik 11 (2011), S. 60-61
- [L76]**
E. Roch Talens, A. Roch, T. Köckritz, J. Liebich, K. Rost, J. Heinrich, I. Jansen, E. Beyer, A. Leson, O. Jost
»Highly Elastic Transparent SWCNT - Polymer Electrodes with Excellent Robustness and Long-Term Stability«
12th International Conference on the Science and Application of Nanotubes, NT 11, 10. - 16. Juli 2011, Cambridge, P 304, Tagungsstück
- [L77]**
T. Roch, A.F. Lasagni, E. Beyer
»Nanosecond UV Laser Graphitization and Delamination of Thin Tetrahedral Amorphous Carbon Films with Different sp(3)/sp(2)«
Content, Thin solid films 519 (2011), Nr. 11, S. 3756-3761
- [L78]**
S. Rose, M. Schnick, A. Mahrle, F. Kretschmar, C. Demuth, U. Füssel, E. Beyer
»Beeinflussung von Plasmaschweißprozessen durch Faserlaserstrahlung geringer Leistung. Teil 1: Experimentelle Untersuchungen«
Schweißen und Schneiden 63 (2011), Nr. 4, S. 170-175
- [L79]**
R. Schedewy, E. Beyer, B. Brenner, J. Standfuß
»Prospects of Welding Foils with Solid State Laser for Lithium-Ion Batteries«
30th International Congress on Applications of Lasers and Electro Optics (ICALEO), 24. - 27. Oktober 2011, Orlando (FL), USA, paper M203 (2011), S. 817-824, Tagungs-CD, ISBN 978-0-912035-94-9
- [L80]**
H.-J. Scheibe
»Höhere Energieeffizienz durch Reibungsreduzierung«
Plasma & Oberfläche, Magazin Verlag Hightech Publications, Ausgabe 2, Mai 2011
- [L81]**
S. Scheitz, F.-L. Toma, L.-M. Berger, R. Puschmann, V. Sauchuk, M. Kusnezoff
»Thermisch gespritzte keramische Schichtheizelemente Thermally Sprayed Multilayer Ceramic Heating Elements«
Thermal Spray Bulletin (2011), Band 4, Nr. 2, S. 88-92 ISSN 1866-6248
- [L82]**
S. Schmieder, A. Henseleit, S. Malik, N. Danz, F. Sonntag, C. Reinemann, R. Stoltenburg, B. Strehlitz, U. Klotzbach, B. Boschke
»Lab-on-a-Chip Biosensor mit Aptameren als Rezeptoren«
7. Deutsches BioSensor Symposium (2011), S. 34 ISBN 978-3-00-034073-4
- [L83]**
M. Schnick, S. Rose, U. Füssel, A. Mahrle, T. Pinder, E. Beyer
»Numerische und experimentelle Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen einem Plasmalichtbogen und einem Laserstrahl geringer Leistung«
Schweißen und Schneiden 9 (2011)
- [L84]**
D. Schneider, T. Schwarz, L.-M. Berger, R. Puschmann, M. Barbosa, R. Hofmann
»Oberflächencharakterisierung durch Laserakustik, Anwendungen und Trends«
V2011 Industrieausstellung & Workshop-Woche, Tagungsband, S. 76

[L85]

B. Schultrich

»Modeling of ta-C Growth: Influence of the Technological Parameters«

Diamond and Related Materials 20 (2011), Nr. 5-6, S. 785-792

[L86]

U. Schwarz, H. Wust, M. Oertel, G. Wiedemann

»Laserunterstützte Schmalflächenbeschichtung«

Photonik 43 (2011), Nr. 1, S. 46-49

[L87]

L.D. Scintilla, L. Tricarico, A. Wetzig, A. Mahrle, E. Beyer

»Primary Losses in Disk and CO₂ Laser Beam Inert Gas Fusion Cutting«

Journal of Materials Processing Technology 211 (2011), S. 2050-2061, DOI:10.1016/j.jmatprotec.2011.07.002

[L88]

L.D. Scintilla, L. Tricarico, A. Mahrle, A. Wetzig, T. Himmer, E. Beyer

»Fusion Cutting of Steel with Disk and CO₂ Lasers«

The Laser User Issue 62, Spring 2011, S. 24-26

[L89]

L.D. Scintilla, L. Tricarico, A. Mahrle, A. Wetzig, E. Beyer

»Experimental Investigation on the Cut Front Geometry in the Inert Gas Laser Fusion Cutting with Disk and CO₂ Lasers«

Proceedings of the 31. Int. Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Paper 105

[L90]

R. Siebert, S. Luzius, A. Wetzig, S. Weiler, E. Beyer

»A Modelling Approach for an Edge Deletion Process of Thin-Film Solar Cells with High-Power Nano-second Laser Radiation«

International Conference on Lasers in Manufacturing (LIM), München, Hrsg.: M. Schmidt, Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik -WLF-: Lasers in Manufacturing, Proceedings, 23. – 26. Mai 2011, München, Amsterdam, Elsevier (2011), S. 207-213 (Physics Procedia 12.2011, S. 1)

[L91]

F. Sonntag, M. Gruchow, I. Wagner, G. Lindner, U. Marx

»Miniaturisierte Humane organotypische Zell- und Gewebekulturen«

Biospektrum 17 (2011), Nr. 4, S. 418-421

[L92]

F. Sonntag, M. Gruchow, U. Klotzbach, M. Bürger, S. Howitz, S. Hofmann, U. Marx

»Universelle Geräteplattform für das automatisierte Handling zellbasierter Assays«

Dresdner Beiträge Sensortechnik (2011), ISBN: 978-3-942710-53-4

[L93]

J. Standfuß, W. Rath, M. Valentin, H. Falldorf

»Laserschweißen von Mischverbindungen : Einsatz brillanter Strahlquellen und hochfrequenter Strahloszillatoren«

Laser-Technik-Journal (2011), Nr. 2, S. 24-26

[L94]

A. Techel, I. Jansen, R. Rechner

»Lasertechnik für Lithium-Ionen-Zellen«

Photonik 43 (2011), Nr. 3, S. 26-27 Tagungs-CD

[L95]

S. Thiele, K. Sempf, K. Jaenicke-Roessler, L.-M. Berger, J. Spatzier

»Thermophysical and Microstructural Studies on Thermally Sprayed Tungsten Carbide-Cobalt Coatings«

Journal of Thermal Spray Technology 20 (2011), Nr. 1-2, S. 358-365

[L96]

S. Thiele, K. Sempf, L.-M. Berger, J. Spatzier

»Thermophysical and Microstructural Studies on Thermally Sprayed Chromium Carbide Coatings«

International Thermal Spray Conference & Exhibition ITSC (2011), 27. - 29. September 2011, Hamburg, Conference Proceedings, DVS-Berichte 276 (2011), S. 137-142, Tagungs-CD, ISBN 978-3-87155-268-7

[L97]

F.-L. Toma, L.-M. Berger, S. Langner, T. Naumann

»Suspensionsspritzen - das Potenzial einer neuen Spritztechnologie«

Thermal Spray Bulletin 3 (2011), Nr. 1, S. 24-29

[L98]

F.-L. Toma, S. Scheitz, L.-M. Berger, V. Sauchuk, M. Kusnezoff, S. Thiele

»Comparative Study of the Electrical Properties and Characteristics of Thermally Sprayed Alumina and Spinel Coatings«

Journal of Thermal Spray Technology 20 (2011), Nr. 1-2, S. 195-204

[L99]

F.-L. Toma, S. Langner, M.M. Barbosa, L.-M. Berger, C. Rödel, A. Potthoff

»Influence of Spray Parameters on the Characteristics and Spraying Parameters on the Properties of Dense Suspension-Sprayed Al₂O₃-Coatings«

International Thermal Spray Conference & Exhibition ITSC (2011), 27. - 29. September 2011, Hamburg, Conference Proceedings, DVS-Berichte 276 (2011), S. 421-426, Tagungs-CD, ISBN 978-3-87155-268-7

[L100]

F.-L. Toma, S. Scheitz, R. Puschmann, L.-M. Berger, V. Sauchuk, M. Kusnezoff

»Development of Ceramic Heating Elements Produced by Thermal Spray Technology«

International Thermal Spray Conference & Exhibition ITSC (2011), 27. - 29. September 2011, Hamburg, Conference Proceedings, DVS-Berichte 276 (2011), S. 912-917, Tagungs-CD, ISBN 978-3-87155-268-7

[L101]

F.-L. Toma, S. Scheitz, S. Langner, L.-M. Berger, V. Sauchuk, M. Kusnezoff

»Comparison of the Electrical Properties of Al₂O₃ Sprayed Coatings from Feedstock Powders and Aqueous Suspensions«

International Thermal Spray Conference & Exhibition ITSC (2011), 27. - 29. September 2011, Hamburg, Conference Proceedings, DVS-Berichte 276 (2011), S. 1346-1351, Tagungs-CD, ISBN 978-3-87155-268-7

[L102]

R. Trache, L.-M. Berger, F.-L. Toma, S. Stahr, R.S. Lima, B.R. Marple

»Electrical Resistivity of Thermally Sprayed Cr₂O₃-TiO₂ Coatings«

International Thermal Spray Conference & Exhibition ITSC (2011), 27. - 29. September 2011, Hamburg, Conference Proceedings, DVS-Berichte 276 (2011), S. 1179-1184, Tagungs-CD, ISBN 978-3-87155-268-7

[L103]

F. Wehnert, I. Jansen, P. Pötschke

»Improved Properties of Adhesives by Integration of Carbon Nanotubes«

12th international Conference on the Science and Application of Nanotubes, NT 11, 10. – 16. Juli 2011, Cambridge, P 226, Tagungsstick

[L104]

V. Weihnacht, A. Brückner, G. Theiler, T. Gradt

»Kombinierte ta-C/MoS₂-Schichten für vakuumtribologische Komponenten«

V2011 Industrieausstellung & Workshop-Woche, Tagungsband, S. 75

[L105]

V. Weihnacht, S. Makowski, A. Brückner, G. Theiler, T. Gradt

»Tribologie und Anwendung trockener laufender ta-C-Schichten«

52. Tribologie-Fachtagung (2011) in Göttingen, Tagungsband

[L106]

B. Winderlich, A. Jahn, B. Brenner

»Leichtbaupotenzial zyklisch belasteter Laserstrahl-Hybrid-schweißverbindungen aus S1100QL«

MP materials testing 53 (2011), Nr. 5, S. 256-265

[L107]

P. Wollmann, M. Leistner, U. Stoeck, R. Grünker, K. Gedrich, N. Klein, O. Throl, W. Grähler, I. Senkovska, F. Dreisbach, S. Kaskel

»High-Throughput Screening: Speeding up Porous Materials Discovery«

Chemical communications 47 (2011), Nr. 18, S. 5151-5153

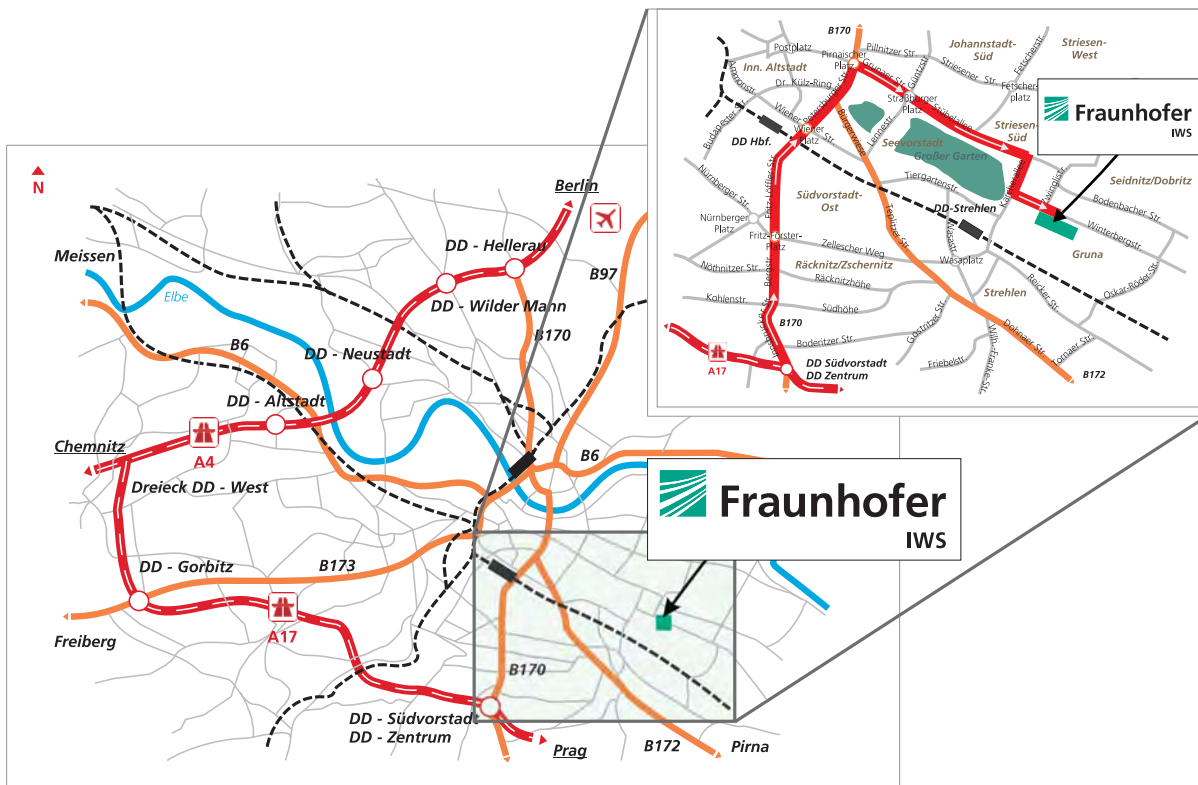
[L108]

P. Wollmann, M. Leistner, W. Grähler, O. Throl, F. Dreisbach, S. Kaskel

»Optical Detection of the Heat of Adsorption for the Determination of Specific Surface Areas«

Microporous, Mesoporous Materials 149 (2011), S. 86-94

KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT



Mit dem Auto (ab Autobahn):

- Autobahn A4 oder A13 bis Dreieck Dresden-West, dann über die neue Autobahn A17, Ausfahrt Südvorstadt / Zentrum,
- Bundesstraße B170 folgend Richtung Stadtzentrum bis Pirnaischer Platz (ca. 6 km),
- am Pirnaischen Platz rechts abbiegen Richtung »Gruna / VW-Manufaktur«,
- geradeaus, am Ende des »Großen Gartens« rechts in die Karcherallee,
- an der folgenden Ampel links in die Winterbergstraße.

Post-Adresse:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff-
und Strahltechnik IWS Dresden
Winterbergstr. 28
01277 Dresden

Mit der Straßenbahn (ab Dresden-Hauptbahnhof):

- Straßenbahnlinie 10 zum Straßburger Platz,
- mit den Linien 1 (Prohlis) oder 2 (Kleinzschachwitz) stadtauswärts bis Haltestelle Zwinglistraße,
- 10 min zu Fuß (Richtung Grunaer Weg).

Internet-Adresse:

www.iws.fraunhofer.de

Mit dem Flugzeug:

- ab Flughafen Dresden-Klotzsche mit dem Taxi zur Winterbergstraße 28 (ca. 10 km),
- oder mit der S-Bahn (unterirdische S-Bahn-Station) zum Hauptbahnhof, weiter s. Bahn.

Telefon +49 351 83391-0

Fax +49 351 83391-3300

E-mail: info@iws.fraunhofer.de

IMPRESSUM

Redaktion:	M.Sc. Dipl.-Inf.(BA) Henry Teuber Dr. Anja Techel Dr. Ralf Jäckel
Koordination / Gestaltung:	M.Sc. Dipl.-Inf.(BA) Henry Teuber Dr. Ralf Jäckel
Bildnachweis:	S. 3 Fraunhofer IWS / Christian Hüller S. 6 Miklav (fotolia) S. 8 (Abb. 2) Held Systems S. 11 Dr. F. Junker (privat) S. 16 Fraunhofer IWS / Frank Höhler S. 26 Marco Becker (fotolia) S. 67 (o. li.) Helmut-Schmidt-Universität S. 73 (o. li.) Heraeus S. 84 (Abb. 1) GrandeMedia S. 102 (Abb. 1+2) TU Dortmund S. 106 Secret Side (fotolia) S. 111 Fraunhofer IWS / Bolko Kosel S. 114 TU Wrocław S. 120 / 121 Fraunhofer IPM, ILT, IST, IOF, FEP S. 2, 3, 16, 19, 53, 61, 75, 89 Frank Höhler S. 18, 31 (Abb. 2), 33 (Abb. 2+4), 34, 35, 52, 60, 66 (Abb. 1), 74, 82 (Abb. 1), 85 (Abb. 1 u. 2), 88, 104 (u. li.) Jürgen Jeibmann Titel Fraunhofer IWS / Jürgen Jeibmann alle anderen Abbildungen Fraunhofer IWS

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2012

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.