



Fraunhofer

IWS



Dresden



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS

JAHRESBERICHT

2016

www.iws.fraunhofer.de



JAHRESBERICHT 2016



VORWORT



»Innovationen geben der Zukunft eine Zukunft«

Hans-Jürgen Quadbeck-Seeger

Das Jahr 2016 war durch eine stabile wirtschaftliche Situation in Deutschland geprägt. Auch für das IWS war 2016 ein erfolgreiches Jahr mit einer positiven Bilanz.

Es war aber auch ein Jahr mit weitreichenden politischen und technologischen Veränderungen. Politisch musste versucht werden, die vielen Flüchtlinge in die Gesellschaft zu integrieren. Technologisch wurde das Jahr 2016 durch die industrielle Revolution 4.0 geprägt. Basis für das Internet der Dinge sind autonome und vernetzte Systeme, welche auf Daten aus dem Internet zurückgreifen und selbstständig fertigen können. Ein Musterbeispiel für Industrie 4.0 ist der 3D-Druck. Hier kann man die Daten eines Bauteils aus dem Netz herunterladen, auf eine Anlage zum Drucken senden und wenig später das fertige Bauteil in Empfang nehmen. Besonders wichtig sind dabei die Prozess- und Systemsensorik und -überwachung sowie die Steuerung und Regelung. Unsere Aktivitäten in diesem Bereich werden wir im Bericht ausführlich erläutern.

Ein stetig und stark wachsender Markt ist im Bereich des Laser-auftragschweißens mit Pulver und Draht zu erkennen. Hier hat sich das IWS ein internationales Alleinstellungsmerkmal erarbeitet. Zusammen mit weiteren Verfahren und Systemen sind die Aktivitäten und Kompetenzen im »Fraunhofer-Zentrum für Thermische Oberflächentechnik« gebündelt.

Im Bereich der Energieeffizienz – auf den Gebieten PVD-Beschichtungen zur Reibungs- und Verschleißminderung, Batterieentwicklung und Laserinterferenzstrukturierung von Oberflächen – haben IWS-Mitarbeiter bedeutende Preise erhalten.

Darüber hinaus gab es auch wieder eine Reihe von industriellen Highlights, d. h. Überführungen von IWS-Entwicklungen in die Serienfertigung; einige Beispiele für den Transfer werden im Jahresbericht erläutert.

Ein herausragendes Ereignis im Jahr 2016 war die Ernennung von Prof. Dr. Christoph Leyens zum Mitglied der Institutsleitung des IWS. Wir werden bis zu meinem Eintritt in den Ruhestand das Institut gemeinsam leiten.

Die 25-jährige Erfolgsgeschichte des IWS wird also fortgeschrieben: Mit unserer unikalen Werkstoff-, Prozess- und Systemtechnikkompetenz als Basis erschließen wir neue Themengebiete – mehr dazu erfahren Sie bei der weiteren Lektüre.

An dieser Stelle möchten wir uns bei allen Projektpartnern für das Vertrauen und die gute Zusammenarbeit bedanken. Wir wünschen Ihnen, dass Sie beim Lesen unseres Jahresberichts viele Anregungen und neue Ideen bekommen, bei deren Umsetzung wir Ihnen gerne helfen.

Prof. Dr.-Ing. E. Beyer

Prof. Dr.-Ing. C. Leyens

INHALT

DAS FRAUNHOFER IWS

VORWORT	2
INHALT	4
AUS DEM KURATORIUM	6
KERNKOMPETENZEN	8
ENTWICKLUNGSPERSPEKTIVEN	10
HIGHLIGHTS IM JAHR 2016	12
DAS INSTITUT IN ZAHLEN	14

AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN

GENERIEREN UND DRUCKEN	20
ADDITIVE FERTIGUNG ALS SCHLÜSSEL ZUM ERFOLG	
LASERABTRAGEN UND -TRENKEN	38
MIT HOCHGESCHWINDIGKEIT ZU INNOVATIVEN PRODUKTEN	
THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK	52
SYMBIOSE VON BESCHICHTUNGSTECHNIK UND WERKSTOFF KNOW-HOW	
FÜGEN	68
METALLE, NICHTMETALLE UND MISCHVERBINDUNGEN	
MIKROTECHNIK	84
MIKROTECHNIK FÜR MEDIZIN- UND PRODUKTIONSTECHNIK	
PVD- UND NANOTECHNIK	100
NEUE SCHICHTSYSTEME ERWEITERN DAS ANWENDUNGSSPEKTRUM	
CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND REAKTIONSTECHNIK	116
TECHNOLOGIEN FÜR BATTERIEN UND FUNKTIONALE OBERFLÄCHEN	



ZENTREN, NETZWERKE, EHRUNGEN

ZENTREN 138

THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK	139
ADDITIVE FERTIGUNG	140
ENERGIEEFFIZIENZ	141
BATTERIEFORSCHUNG	142
»TAILORED JOINING«	143
WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG UND -PRÜFUNG	144
FRAUNHOFER PROJECT CENTER IN WROCLAW (PCW)	145
DORTMUNDER OBERFLÄCHENCENTRUM (DOC®)	146
ANWENDUNGSZENTRUM ZWICKAU (AZOM)	147
CENTER FOR COATINGS AND DIAMOND TECHNOLOGIES (CCD)	148
CENTER FOR LASER APPLICATIONS (CLA)	149

NETZWERKE 150

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT	151
FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES	152
EXZELLENTER KOOPERATIONSPARTNER: TU DRESDEN	154

AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN 156

VERÖFFENTLICHUNGEN 158

KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT 159

IMPRESSUM 160

AUS DEM KURATORIUM

Das Kuratorium berät und unterstützt die Institutsleitung sowie die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 26. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 18. März 2016 im Fraunhofer IWS Dresden statt. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

REINHOLD ACHATZ, DR.

Vorsitzender des Kuratoriums
Leiter Corporate Function Technology, Innovation & Sustainability, thyssenkrupp AG, Essen

JOACHIM FETZER, DR.

Mitglied des Bereichsvorstands Gasoline Systems,
Robert Bosch GmbH, Stuttgart

RALF-MICHAEL FRANKE

CEO Factory Automation,
Digital Factory Division, Siemens AG, Nürnberg

THORSTEN FRAUENPREIß

Geschäftsführer ROFIN-SINAR Laser GmbH,
Hamburg

JÜRGEN HOHNHAUS, DR.

CTO Development,
Bystronic Laser AG, Niederörsz/Schweiz

FRANK JUNKER, DR.

DR.-ING. FRANK JUNKER CONSULTING,
Radebeul

PETER KÖSSLER

Vorsitzender der AUDI HUNGARIA MOTOR Kft.
und Leiter Planung Motoren der AUDI AG,
Győr/Ungarn

UWE KRAUSE, DR.

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

HANS MÜLLER-STEINHAGEN, PROF. DR.

Rektor der Technischen Universität Dresden

PETER G. NOTHNAGEL

Geschäftsführer Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH,
Dresden

MARKUS RALL, DR.

Geschäftsführer POLAR-Mohr Maschinenvertriebsgesellschaft
GmbH & Co. KG, Hofheim I Taunus

HERMANN RIEHL, MINR

Leiter des Referates Elektroniksysteme, Elektromobilität,
Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn

CHRISTOPH ULLMANN, DR.

Geschäftsführer Laserline GmbH,
Mülheim-Kärlich

RENÉ UMLAUFT, DR.

Geschäftsführer René Umlauf GmbH Consulting for Energy &
Industry, Nürnberg

FRANZ-JOSEF WETZEL, DR.

BMW Motorrad, UX-EV, München

PETER WIRTH, DR.

Ehrengast des Kuratoriums
Rofin-Sinar Laser GmbH, Hamburg

REINHARD ZIMMERMANN, MINR DR.

Leiter des Referates Grundsatzangelegenheiten,
Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst,
Dresden



Das Jahr 2016 war ein Jahr großer Veränderungen, nicht nur politisch, auch technologisch.

Die Geschwindigkeit der Veränderung und des Zuwachses des Wissens nimmt stetig zu. In dieser sich ständig wandelnden Welt gilt es, sich zu behaupten. Dies ist nur möglich, wenn man die Zukunft aktiv mitgestaltet. Dies gilt für Wirtschaftsunternehmen in gleicher Weise wie für ein Forschungsinstitut. Die Veränderungen generieren aber auch einen wachsenden Bedarf der Wirtschaft an anwendungsorientierter Forschung.

Auch beim Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS gab es im Jahr 2016 eine Reihe von Veränderungen und Entwicklungen.

Zum einen wurde neben dem langjährigen Erfolgsgaranten und Leiter des Instituts, Professor Eckhard Beyer, Professor Christoph Leyens als Mitglied der Institutsleitung berufen und damit eine Weichenstellung für die Zukunft vorgenommen.

Zum anderen gab es auch technisch bemerkenswerte Fortschritte.

Die Möglichkeiten der Anwendungen von Lasern sind längst noch nicht ausgeschöpft! Sei es beim Schneiden von Elektroblechen, beim Fügen von Mischverbindungen durch Laserschweißen oder bei der Oberflächenstrukturierung.

Die additive Fertigung gewinnt mit steigender Technologiereife weiter an Bedeutung. Auch hier ist das IWS an der Spitze der Technologieapplikation.

Die Umsetzung der Energiewende schreitet weiter voran. Im Jahr 2016 stieg der Anteil der aus erneuerbaren Quellen erzeugten elektrischen Energie auf einen Anteil von 32 Prozent der deutschen Stromnutzung. Da die Menge des aus erneuerbaren Quellen erzeugten Stroms sehr stark von volatilen, natürlichen

Prozessen, wie der Sonnenscheindauer, Strahlungsintensität der Sonne oder der Stärke des Windes abhängt, entsteht ein immer stärkerer Druck auf die Entwicklung von Energiespeichern.

Die Optimierung von Lithium-Ionen-Batterien ist noch lange nicht an ihre Grenzen gekommen, und die Entwicklung von Lithium-Schwefel-Batterien ist schon in vollem Gange. Gerade bei der Entwicklung der Lithium-Schwefel-Technologie leistet das IWS einen wesentlichen Beitrag. Ziel ist es hier, die Kosten auf unter 100 Euro pro KW h^{-1} zu senken und dies bei gleichzeitig hoher Zyklenfestigkeit.

Hervorzuheben sind auch die Arbeiten zur Reibungsreduktion durch Kohlenstoff-Beschichtung. Ein zusätzlicher für die Industrie bedeutender Vorteil dieser Technologie ist die Verschleißreduktion.

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS zeichnet sich durch Kreativität in der Forschung und durch Technologiebeherrschung in der Anwendung aus. Daher ist der bemerkenswerte wirtschaftliche Erfolg des Instituts im Jahr 2016 nicht verwunderlich.

Das Kuratorium dankt den Kunden für ihr entgegengebrachtes Vertrauen, den Mitarbeitenden, der Institutsleitung und allen Partnern für die Zusammenarbeit, ihren Einsatz und die erreichten Ergebnisse. Wir wünschen Ihnen für die Zukunft weiterhin viel Erfolg und Gesundheit.

Ihr

Dr. Reinhold Achatz

KERNKOMPETENZEN



»Es fällt immer auf, wenn jemand über Dinge redet, die er versteht.«

Helmut Käutner

Die Überführung aktueller Forschungsergebnisse in die industrielle Praxis ist wesentlicher Antrieb für unsere Forschungsarbeiten. Dafür haben wir uns auf folgenden Gebieten Kernkompetenzen erarbeitet und ständig weiter ausgebaut:

LASERMATERIALBEARBEITUNG

Die Kernkompetenz der Lasermaterialbearbeitung umfasst die Beherrschung durchgehender Wertschöpfungsketten von der Analyse der Bauteilbelastung, dem beanspruchungsgerechten Werkstoffeinsatz und der bauteilbezogenen Verfahrensentwicklung bis hin zur industriellen Umsetzung moderner Verfahren. Werkstoff- und Bauteilverhalten stehen im Vordergrund, daraus ergeben sich die Prozess- und Systemparameter, welche letztlich das Anlagenkonzept bestimmen. Prozessüberwachung und -regelung runden das Portfolio ab.

OBERFLÄCHFUNKTIONALISIERUNG UND BESCHICHTUNG

Die Verbesserung der Funktionalität der Oberfläche ist eine zentrale Aufgabe. Dafür steht im IWS ein breites Spektrum an Verfahren zur Funktionalisierung und Beschichtung zur Verfügung. Schichten von wenigen Nanometern bis zu einigen Millimeter Dicke aus unterschiedlichen Materialien und Materialkombinationen können damit hergestellt werden. In vielen Fällen ist für eine optimale Bauteilbehandlung oder -beschichtung die Weiterentwicklung der Systemtechnik (z. B. Plasmaquellen) erforderlich.

SONDERFÜGEVERFAHREN

Fügen ist eine zentrale Herausforderung der Produktion und oft ein signifikanter Kostenfaktor. Aktuelle fügetechnische Entwicklungen können in vielen Fällen wichtige Verbesserungen und Impulse liefern. Basierend auf einem umfangreichen werkstofftechnischen Verständnis konnte sich das IWS Kompetenz in den Bereichen elektromagnetisches Pulsfügen und 3D-Rührreibschweißen sowie Kleben mit Laser- und Plasma-vorbehandlung und thermisches Direktfügen thermoplastischer Verbundmaterialien erarbeiten.

SYSTEMTECHNIK

Sensorik zur Prozessüberwachung und informationstechnische Vernetzung helfen, die Prozessqualität zu sichern und zu dokumentieren. Die Anpassung der Systemtechnik ist häufig unausweichlich. In Verbindung mit einer Vielzahl von Industrieüberführungen konnte sich das IWS umfangreiche systemtechnische Kompetenz erarbeiten und das Verfahrens-Know-how bei Entwicklung, Fertigung und Design von industrietauglichen integrierbaren Komponenten, Anlagen und Systemen mit der dazugehörigen Software einbringen.

ANALYSE UND PROZESSIMULATION

Die Kompetenz im Bereich der Simulation erstreckt sich auf die Entwicklung von Simulationsmodulen zur thermischen Oberflächentechnik, zum additiven Fertigen, Schneiden, Schweißen und Vakuumbogenbeschichten sowie auf die Berechnung der optischen Eigenschaften von Nanoschichtsystemen. Kommerzielle Simulationsmodule kommen beim Optimieren der Gas- und Plasmaströmung bei Beschichtungsprozessen und der Lasermaterialbearbeitung zum Einsatz.

WERKSTOFF- UND NANOTECHNIK

Zur Kernkompetenz gehören die Charakterisierung von oberflächen- und randschicht-behandelten sowie beschichteten, geschweißten, geschnittenen und mikro- bzw. nanostrukturierten Werkstoffen und Bauteilen. Dies stellt die Grundlage für die werkstoff- und bauteilangepasste Verfahrensentwicklung und Qualitätssicherung dar und ist die Basis für eine werkstoff-, fertigungs- und beanspruchungsgerechte Konstruktion.



Für einen nachhaltigen Erfolg des IWS sind die Kenntnis der Kundenanforderungen, die kontinuierliche wissenschaftliche Forschung und die Aufrechterhaltung eines wettbewerbsfähigen Innovationspotenzials unerlässlich. Wichtiges Element des kontinuierlichen Innovationsprozesses des IWS sind die regelmäßig stattfindenden Strategieaudits, bei denen die Forschungs-, Finanz- und technisch-wissenschaftlichen Entwicklungsziele des IWS von namhaften Vertretern aus Industrie und Wissenschaft bewertet werden. Das Expertengremium bescheinigte dem IWS auch 2016 wieder eine klare Strategie und hervorragende Entwicklungsperspektive.

DIGITALE WERKSTOFFTECHNIK

In fast allen Forschungsgebieten des IWS ist eine enge Verzahnung von tiefgreifendem werkstofftechnischem Wissen mit prozess- und produktionstechnischem Know-how ein Schlüsselfaktor für den wissenschaftlich-technischen Erfolg zur Lösung komplexer Probleme. Der zunehmenden Digitalisierung der Produktionstechnik muss daher konsequenterweise auch der »digitale Zwilling« in der Werkstofftechnik folgen. Damit kann im Sinne einer geschlossenen digitalen Kette einerseits eine einfachere Verknüpfung der »Werkstoffwelt« mit der »Produktionswelt« geschaffen werden, andererseits verkürzt die digitale Werkstofftechnik Entwicklungszeiten von neuen Werkstoffen und verbessert Werkstoff- und Bauteileigenschaften.

Die Implementierung der digitalen Werkstofftechnik erfolgt aufgrund der Komplexität der Aufgabe und der zur Lösung erforderlichen personellen Ressourcen und Forschungsleistungen schrittweise. Zurzeit werden die auch unter dem Begriff ICME (= Integrated Computational Materials Engineering) bekannten und noch in der Entwicklung befindlichen Methoden auf ausgewählte Produktionsverfahren des IWS, insbesondere auf dem Gebiet der Additiven Fertigung, angewendet. In einem nachfolgenden Schritt werden Methoden zum Integrated Computational Materials and Process Engineering (ICMPE) entwickelt.

DIGITALE LASERMATERIALBEARBEITUNG

Die durchgängige Digitalisierung von Prozessen der Lasermaterialbearbeitung schafft in der industriellen Anwendung einen hohen Kundennutzen. Auf der Grundlage des umfassenden systemtechnischen Know-hows des IWS werden über neue Hardware- und Software-Lösungen cyber-physische Lasermaterialbearbeitungssysteme entwickelt. Je nach Anwendungsfall unterstützen diese den Maschinenbediener bei der Durchführung komplexer Bearbeitungsaufgaben, dienen einer Erhöhung der Produktqualität und verbessern die Reproduzierbarkeit von Arbeitsergebnissen bei immer gleichen oder auch bei häufig wechselnden Produktionsabläufen.

Bei der Weiterentwicklung der IWS-Systemtechnik zu volldigitalisierten Systemen steht der Plattformgedanke im Vordergrund. Konkret werden Entwicklungen zum Härten, Schneiden, Fügen, Beschichten und für die Additive Fertigung vorangetrieben und schrittweise auf den Markt gebracht.



MASCHINELLES LERNEN

Das Maschinelle Lernen, also die Fähigkeit eines technischen Systems, ähnlich wie der Mensch, aus Erfahrungen zu lernen, ist ein wichtiger Baustein im Zusammenhang mit Industrie 4.0. Maschinelles Lernen setzt in der Regel Informationen in Form von Daten voraus, die online gewonnen werden und mit solchen verknüpft werden, die offline vorliegen und analysiert wurden. Am IWS werden Methoden des Maschinellen Lernens bei Oberflächen-, Schicht- und Lasermaterialbearbeitungsprozessen entwickelt. Mit jedem neuen oder sich wiederholenden Prozess werden zusätzliche Informationen («Erfahrungen») gesammelt. Wesentliches Ziel ist die Verknüpfung der Informationen zu einer durchgängigen digitalen Datenkette zwischen Werkstoff, Systemtechnik, Prozess und Bauteil. Damit einher geht die Notwendigkeit zur Verarbeitung von großen, komplexen und sich schnell ändernden Datenmengen.

Durch die Verknüpfung von Ergebnissen aus den Bereichen digitale Werkstofftechnik und digitale Lasermaterialbearbeitung werden Expertensysteme für intelligente Lasermaterialbearbeitungssysteme entwickelt. Die verwendeten Methoden lassen sich auch auf die Kerngebiete Oberflächen- und Beschichtungstechnik übertragen.

ZENTREN ALS ERFOLGSFAKTOREN

Durch die Bildung von Zentren bündelt das IWS seine Kompetenzen in den zentralen Forschungsgebieten des Instituts (siehe Seiten 138 bis 149). Das nutzt Synergien nach innen und schafft Sichtbarkeit nach außen. Die bestehenden geschäftsfeldübergreifenden Zentren zu den Themen **Energieeffizienz, Batterieforschung, Tailored Joining, Additive Fertigung** sowie **Werkstoffcharakterisierung und -prüfung** werden seit 2016 ergänzt durch das Zentrum für **Thermische Oberflächentechnik**.

Das »**Zentrum für Thermische Oberflächentechnik**« am IWS stellt innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft und in Europa mit seiner fachlichen Breite ein unikales Innovationszentrum dar. Wissenschaftler und Ingenieure erforschen neue Schichtsysteme und deren Herstellungsverfahren, funktionalisieren Oberflächen und entwickeln neue Verfahrenskombinationen, mit denen noch bessere Oberflächeneigenschaften bei geringeren Kosten erzielt werden können. Anwendungsorientierte Charakterisierung und Prüfung runden das Kompetenzspektrum des Zentrums ab.

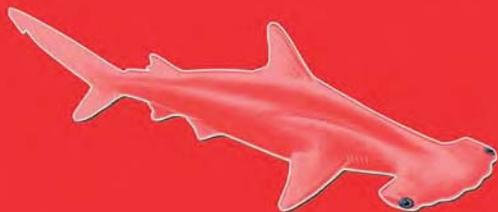
Im »**Dortmunder OberflächenCentrum DOC**« bündelt die ThyssenKrupp Steel AG (TKS) unter Beteiligung der Fraunhofer-Gesellschaft ihre Kapazitäten und Kompetenzen auf dem Gebiet der Oberflächentechnik.

Das »**Anwendungszentrum für Optische Messtechnik und Oberflächentechnologien (AZOM)**«, angesiedelt im Umfeld der Westsächsischen Hochschule Zwickau, bildet eine Brücke zwischen dem Fraunhofer IWS in Dresden und der Wirtschaft in Westsachsen.

Das in Partnerschaft des IWS mit der Wrocław University of Technology gegründete »**Fraunhofer Project Center for Laser Integrated Manufacturing**« erweitert das bestehende Kooperationsnetzwerk nach Osteuropa und übernimmt eine Vorreiterrolle für die deutsch-polnische Zusammenarbeit.

Fraunhofer IWS ist zudem Kooperationspartner für zwei eigenständig agierende Forschungseinheiten in USA, das »**Center for Coatings and Diamond Technologies CCD**« und das »**Center for Laser Applications CLA**«. Die Center spiegeln die Hauptaktivitäten des IWS, die Laser- und die Schichttechnik, in den US- und nordamerikanischen Markt.

HIGHLIGHTS 2016



LASER-ARC-TECHNOLOGIE FÜR DIE SERIENFERTIGUNG

Superharte ta-C-Kohlenstoffschichten (Diamor®) eignen sich aufgrund ihrer extrem hohen Verschleißfestigkeit und ihres Potenzials zur deutlichen Reduzierung von Reibungsverlusten für zahlreiche industrielle Anwendungen. Mit dem Laser-Arc-Verfahren hat das IWS eine Technologie entwickelt, die in Bezug auf Produktivität und Reproduzierbarkeit einzigartig ist.

Im Jahr 2016 wurden drei Laser-Arc-Module zur Beschichtung von Komponenten aufgebaut und gemeinsam mit der zu Federal-Mogul Powertrain gehörenden VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH an Industriekunden überführt. Bei diesen kommen sie in der Serienproduktion in Einsatz (Abb. 1).

Steigende Anforderungen an die Produktivität sowie der Wunsch nach einer Reduktion der Beschichtungskosten lassen sich über eine weitere Aufskalierung der Technologie erreichen. Vom IWS wurde daher im Jahr 2016 ein Doppel-Laser-Arc-Modul entwickelt, das einen synchronen Betrieb zweier Module an einem Rezipienten ermöglicht. Nach erfolgreicher Qualifizierung des Doppel-Laser-Arc-Moduls wurde dieses gemeinsam mit dem Kooperationspartner, VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH, an einen Industriekunden übergeben.

HISTORISCHE DRUCKE WERDEN DIGITAL

Die Restaurierung und Erhaltung historischer Drucke aus dem 16.-18. Jahrhundert, die häufig noch mit reichhaltigen Maleisen und Blattgoldverzierungen versehen sind, ist eine ganz besondere Herausforderung. Zur Erhaltung werden Materialinformationen genutzt, die berührungslos durch hyperspektrale Bildgebung gewonnen werden können. Im Auftrag der Polytec GmbH wurde am IWS ein Portalbau entwickelt und an die Bayerische Staatsbibliothek überführt. Dieser ermöglicht es, die hochsensiblen Drucke mittels HSI spektral zu digitalisieren.

MATERIALCHARAKTERISIERUNG IM SCHNELLDURCHLAUF

In Zusammenarbeit mit dem IWS entwickelte die Rubotherm GmbH auf Basis der optischen Kalorimetrie eine neue Produktlinie (InfraSORP) zur Bewertung des Leistungspotenzials poröser Materialien. Damit steht nun eine Messmethode zur Verfügung, mit der binnen 5 Minuten relevante Kenngrößen poröser Materialien zugänglich sind. Mit bisher etablierten Methoden konnten maximal 3 Proben am Tag untersucht werden. Rubotherm GmbH und das IWS überführten gemeinsam ein optimiertes optisches Kalorimeter an das Defence Science and Technology Laboratory (DSTL) in Großbritannien. Das System ermöglicht es, poröse Materialien hinsichtlich ihrer Aufnahmefähigkeit für schädliche Substanzen zu untersuchen und ermöglicht gleichzeitig eine prozessbegleitende Qualitätskontrolle (Abb. 2).

WEITERE INDUSTRIEÜBERFÜHRUNGEN DER REMOTE-TECHNOLOGIE ZUM SCHNEIDEN VON AIRBAGGEWEBE

Die vom Fraunhofer IWS zusammen mit der Firma Held Systems entwickelte kompakte Anlagentechnik zum flexiblen Laserstrahlschneiden von Airbagmaterial wurde 2016 an weitere Industriekunden übergeben. Die kontinuierliche Weiterentwicklung und Optimierung der Ansteuerung sowie der Softwarekomponenten sind Entwicklungsanteile des Fraunhofer IWS. Die Anlagen ermöglichen das hochflexible Remote-Laserschneiden von ein- und mehrlagigem Gewebe mit hoher Produktivität.

SCHICHTANALYTIK MIT SCHALLWELLEN – LAWAVE 2G

Das am Fraunhofer IWS Dresden entwickelte Messgerät zur Bestimmung von E-Modul, Härte, Schichtdicke sowie der Tiefe von Bearbeitungs- oder Störschichten wurde im Jahr 2016 komplett überarbeitet und steht nun als kompaktes Tischgerät mit neuer Hardware zur Verfügung. Die Software wurde um ein neues Auswertemodell für bis zu fünf Schichtlagen erweitert. (siehe auch Seite 104/105).



2



3



4



5

100 PROZENTIGE KONTROLLE DER VIALDICHTHEIT IN DER PHARMAZEUTISCHEN PRODUKTION

Zum Schutz vor Keimen müssen pharmazeutische Produkte luftdicht verschlossen werden. Um dies für hochwertige gefriergetrocknete Produkte sicherzustellen, wurde am IWS ein »Head-Space Analyzer« entwickelt, der eine berührungslose Inspektion von pharmazeutischen Vials ermöglicht. Dazu wird eine Dichtheitsprüfung der Vials durchgeführt, nachdem die pharmazeutischen Produkte im Unterdruck abgefüllt wurden. Mittels spektroskopischer Sauerstoffkonzentrationsmessung können potenzielle Leckagen festgestellt werden. Um trotz des enorm hohen Durchsatzes von bis zu 600 Vials min^{-1} eine 100 prozentige Kontrolle mit der geforderten Genauigkeit zu ermöglichen, wurde eigens für diese Anwendung ein Hochgeschwindigkeits- O_2 -Laserdiodenspektrometer entwickelt und zusammen mit dem Industriepartner, der Seidenader Maschinenbau GmbH, in die pharmazeutische Produktion überführt (Abb. 4).

MODERNER LASERSTRAHLSCHWEISSPROZESS HÄLT EINZUG IN TURBOLADERFERTIGUNG

Für die Firma Kompressorenbau Bannewitz GmbH wurde eine bestehende Produktionsanlage zum Laserstrahlschweißen von Ableitgittern für Turbolader im Hinblick auf die Verbesserung der Prozess- und Energieeffizienz sowie zur Steigerung der Schweißnahtqualität modernisiert. Dazu wurden eine 2D-Strahl-ablenkoptik und eine Kamera zur Positionierung des Laserstrahls an der Fügestelle in die Anlage integriert. Zusätzlich erfolgten die Entwicklung und Integration einer Steuer- und Bildverarbeitungssoftware. Hierdurch verringert sich der Energieeintrag beim Schweißen der rissempfindlichen Mischverbindung erheblich. Außerdem kann nun auf den vorher notwendigen Schweißzusatzwerkstoff verzichtet werden. Das Fraunhofer IWS verantwortet dabei die gesamte Prozess- und Softwareentwicklung sowie die Installation der einzelnen Komponenten beim Kunden.

KOAXIAL-LASER-DRAHT-AUFTRAGSCHWEISSEN IN ENERGIEERZEUGUNG UND TRIEBWERKSTECHNOLOGIE

Die Laser-Draht-Auftragschweiß-Optik COAXwire des IWS wird von der Industrie intensiv und in wachsendem Maße nachgefragt. Im Jahr 2016 sind 5 dieser Systeme in CNC- und Roboteranlagen integriert worden (Abb. 5). Unternehmen und Forschungseinrichtungen in der Türkei, den USA, Indien und Finnland arbeiten heute mit dem Laser-Bearbeitungskopf zum richtungsunabhängigen Auftragschweißen mit koaxialer Drahtzufuhr, darunter GE (2 Standorte) und GKN. Neben den systemtechnischen Komponenten haben das IWS und das Fraunhofer CLA in Plymouth, MI, USA, Prozessbausteine entwickelt und geliefert und die Inbetriebnahme der Anlagen bis zum Produktionsanlauf betreut.

PERMEATIONSMESSTECHNIK WELTWEIT NACHGEFRAGT

Das gemeinsam mit der Firma Sempa Systems GmbH entwickelte Permeationsmesssystem HiBarSens zur Bestimmung geringster Wasserdampfdurchlässigkeiten von Barrierematerialien ist jetzt auch für den Arbeitsbereich von 50 °C bis 85 °C verfügbar. Höhere Temperaturen korrespondieren mit Standardtests der organischen Elektronik und verkürzen darüber hinaus signifikant die Messzeit, was zu einem deutlich höheren Probendurchsatz bzw. zu geringeren Messkosten führt. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Geräte, sowie die Etablierung einer HiBarSens-Gerätefamilie, finden weltweit Beachtung und äußern sich in mehreren Überführungen von HiBarSens Geräten in USA, Deutschland, Italien, Korea und Taiwan.

BAUTEILHERSTELLUNG IN FERTIGTEIL-QUALITÄT

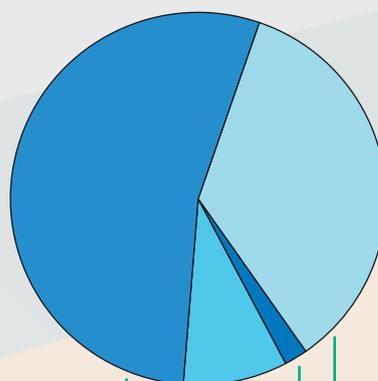
Die neueste IWS-Pulverdüsengeneration COAX14V5 für das Laserauftragschweißen und die additive Fertigung wurde bei der Firma SAUER Lasertec in die Fertigung überführt. Die neue Pulverdüse zeichnet sich durch einen verbesserten Pulverfokus, innenliegende Medienzufuhr und verbesserte Bedienerfreundlichkeit aus (Abb. 3).

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

IWS UND DEUTSCHE AUSSENSTELLEN

MITARBEITER

	Anzahl
Stammpersonal	231
- Wissenschaftler / Ingenieure (TU, FH)	158
- Facharbeiter mit techn. oder kaufmänn. Ausbildung	64
- Auszubildende	9
Mitarbeiter TU Dresden (Arbeitsort Fraunhofer IWS)	37
Stipendiaten + externe Mitarbeiter	7
Wissenschaftliche Hilfskräfte	152
GESAMT	427



Wissenschaftl. Hilfskräfte 35 %

Stipendiaten + ext. Mitarbeiter 2 %

TU-Mitarbeiter 9 %

Stammpersonal 54 %

»„Unmöglich“ ist keine Tatsache, sondern eine Meinung.«

Muhamed Ali

VERWALTUNGSLEITERIN

DR. ANJA TECHEL

☎ +49 351 83391-3473

✉ anja.techel@iws.fraunhofer.de

PUBLIKATIONEN AM IWS

	Anzahl
Promotionen	17
Diplomarbeiten	33
Masterarbeiten	8
Veröffentlichungen	149
GESAMT	207
PATENTE (Erstanmeldung)	17

Eine Liste aller wissenschaftlichen Publikationen des Fraunhofer IWS aus dem Jahr 2016 ist über die bibliographische Datenbank »Fraunhofer-Publica« unter dem folgenden Link abrufbar:

<http://publica.fraunhofer.de/institute/iws/2016>

Stand Januar 2017



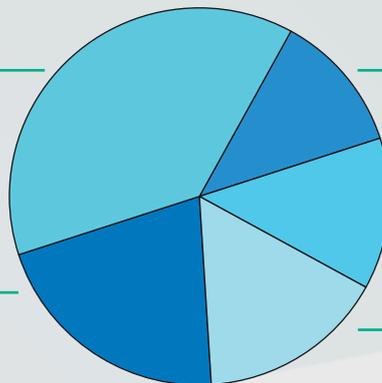
Erträge IWS und deutsche Aussenstellen 2016 (Mio. €)	Betrieb	Investitionen	Gesamt
Projekterträge aus der Industrie	12,0	0,1	12,1
Projekterträge durch Bund, Land und EU	8,2	0,4	8,6
Grundfinanzierung und interne Programme	7,6	1,6	9,2
Sonderfinanzierung durch Bund, Land und EU	0,2	0,9	1,1
	28,0	3,0	31,0

Fraunhofer Industrie $\rho_{\text{Ind}} = 42,7 \%$

HERKUNFT DER ÖFFENTLICHEN ERTRÄGE

BMBF 38 %

BMWi 21 %



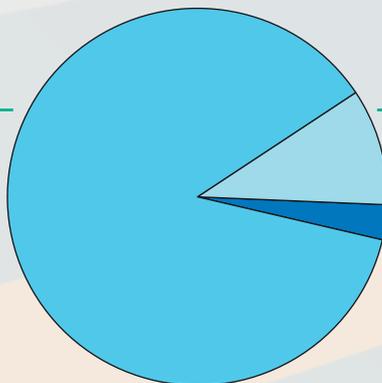
Land Sachsen 12 %

EU 13 %

Sonstige 16 %

HERKUNFT DER INDUSTRIERTRÄGE

Deutschland 87 %



Europa 10 %

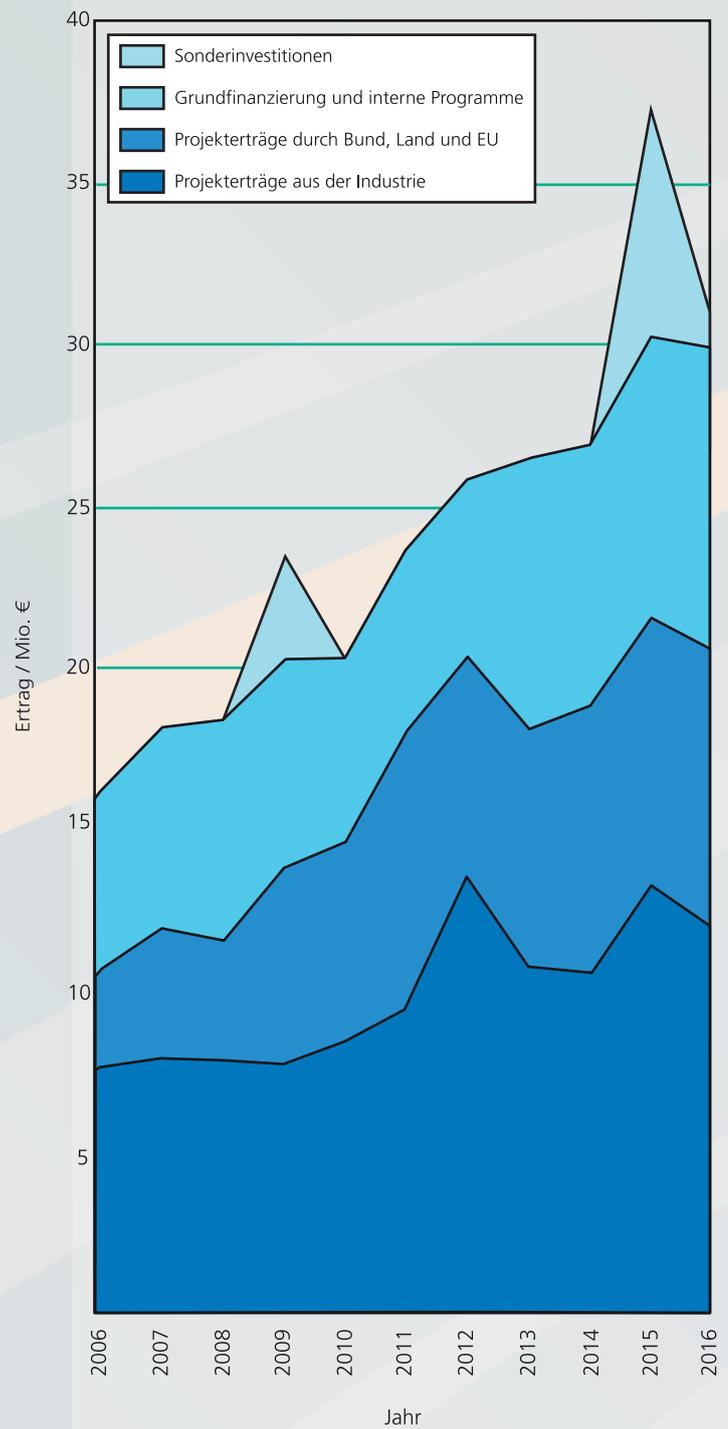
Asien 3 %

Stand Januar 2017

Aufwand 2016 (Mio. €)

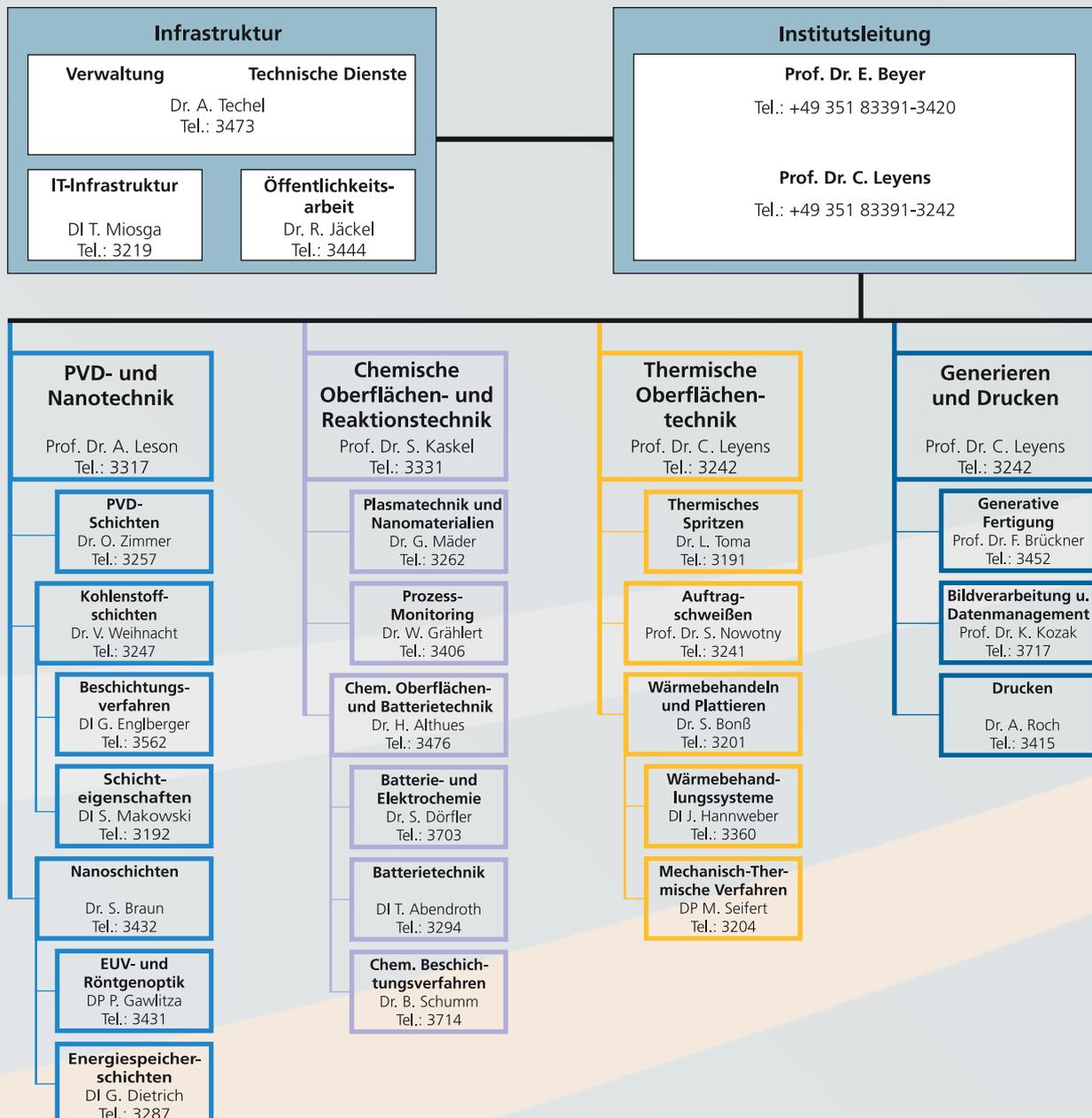
Personalaufwendungen	14,9
Sachaufwendungen	13,1
Investitionen	2,1
Sonderinvestitionen durch Bund, Land und EU	0,9
Gesamt	31,0

Laborfläche **6800 m²**
 Bürofläche **3200 m²**





ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER



»Zusammenkommen ist ein Beginn,
zusammenbleiben ist ein Fortschritt,
zusammenarbeiten ist ein Erfolg.«

Henry Ford

Außenstellen IWS

AZOM - Zwickau
Prof. Dr. P. Hartmann
Tel.: +49 375 536 1538

DOC - Dortmund
Dr. T. Roch
Tel.: +49 231 844 3894

Kooperationspartner

PC Wroclaw - Polen
Prof. Dr. E. Chlebus
Tel.: +48 71 320 2705

Laser Integrated
Manufacturing
Prof. Dr. K. Kozak
Tel.: 3717

CCL-Group - USA
Dr. A. Techel
Tel.: +49 351 83391 3473

CLA
Laser Applications
C. Bratt

CCD
Coatings and Diamond
Technologies
Prof. Dr. T. Schülke

**Laserabtragen
und -trennen**

Dr. A. Wetzig
Tel.: 3229

Laserschneiden

Dr. P. Herwig
Tel.: 3199

**Prozessauslegung
und -analyse**

Dr. A. Mahrle
Tel.: 3407

**High-Speed-
Laserbearbeitung**

Dr. J. Hauptmann
Tel.: 3236

**Lasersystem-
technik**

DI. P. Rauscher
Tel.: 3012

**Laserschneiden
Nichtmetalle**

Dr. J. Hauptmann
Tel.: 3236

Fügen

Dr. J. Standfuß
Tel.: 3212

**Kleben und Faser-
verbundtechnik**

DI A. Klotzbach
Tel.: 3235

**Sonderfüge-
verfahren**

Dr. S. Schulze
Tel.: 3565

**Laserstrahl-
fügen**

Dr. A. Jahn
Tel.: 3237

**Laserstrahl-
schweißen**

Dr. D. Dittrich
Tel.: 3228

**Bauteil-
auslegung**

Dr. A. Jahn
Tel.: 3237

Mikrotechnik

Dr. U. Klotzbach
Tel.: 3252

**Mikromaterial-
bearbeiten**

DI V. Franke
Tel.: 3254

**Mikro- und Bio-
systemtechnik**

Dr. F. Sonntag
Tel.: 3259

**Oberflächen-
funktionalisierung**

Prof. Dr. A. Lasagni
Tel.: 3007

IWS Zentren

**Zentrum Thermische
Oberflächentechnik**
Prof. Dr. C. Leyens Tel.: 3242

Zentrum Batterieforschung
Dr. H. Althues Tel.: 3476

Zentrum Tailored Joining
Dr. J. Standfuß Tel.: 3212

Zentrum Energieeffizienz
Prof. Dr. E. Beyer Tel.: 3420

Zentrum Additive Fertigung
Prof. F. Brückner Tel.: 3452

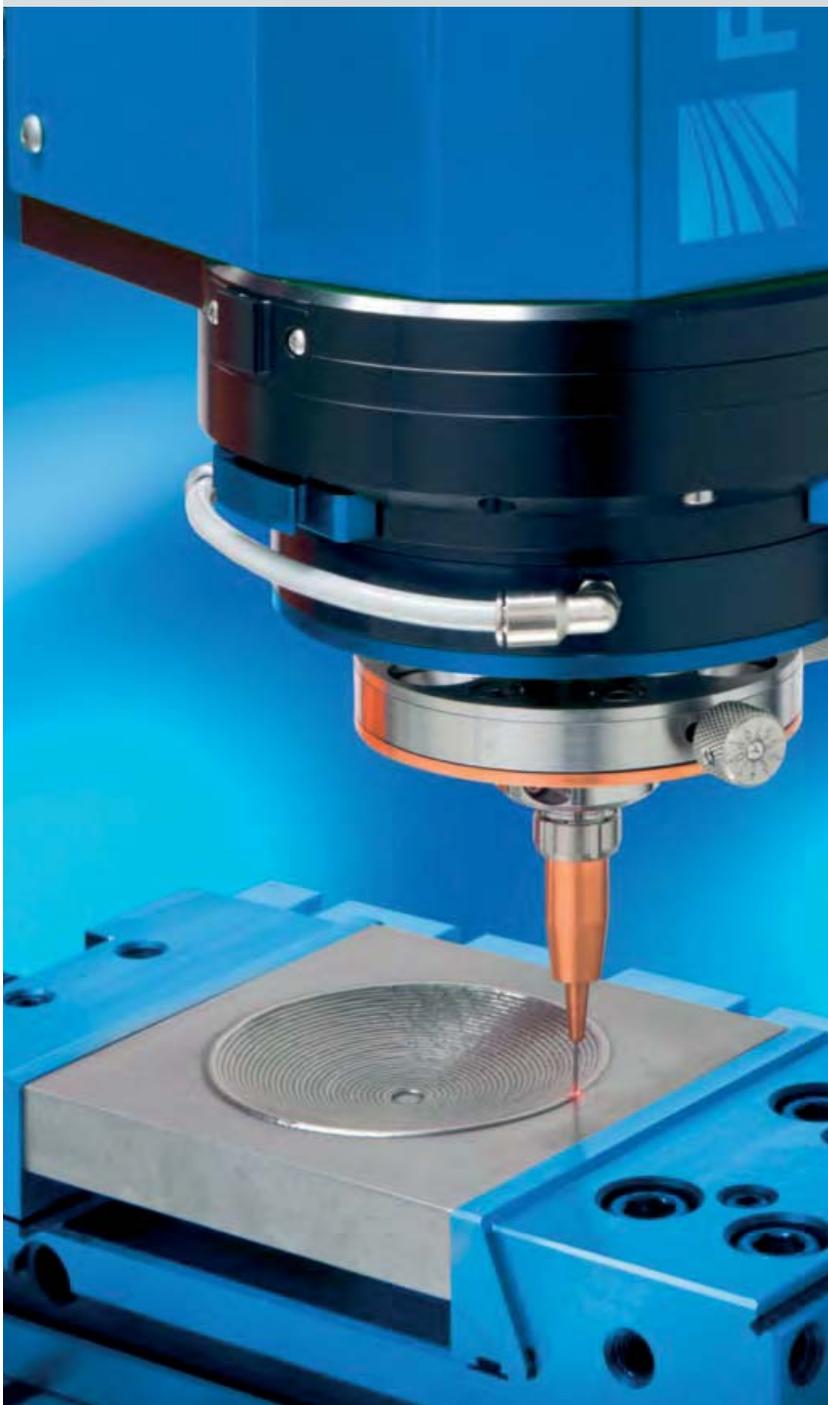
Kompetenzfeld Werkstoffcharakterisierung und -prüfung

**Werkstoff- und
Schadensanalytik**
Dr. J. Kaspar
Tel.: 3216

Prof. Dr. M. Zimmermann
Tel.: 3573

**Werkstoff- und
Bauteilzuverlässigkeit**
Prof. Dr. M. Zimmermann
Tel.: 3573

GENERIEREN UND DRUCKEN



Redaktion: Herr Prof. Leyens, in den letzten Jahren hat die Entwicklung von Produkten, die mittels additiver Fertigung hergestellt werden, richtig Fahrt aufgenommen. Welche Beiträge liefert das IWS in diesem Bereich?

Prof. Leyens: Die additive Fertigung als flexibler Herstellungsprozess erfährt im industriellen Umfeld deshalb immer größeren Zuspruch, weil es gelungen ist, Produkte zu vermarkten, mit denen das große technische und wirtschaftliche Potenzial dieser innovativen Technologie demonstriert werden konnte. Das IWS liefert mit seinem verfahrens- und werkstoffübergreifenden Forschungs- und Entwicklungsansatz wichtige Beiträge entlang der gesamten Prozesskette. Somit finden Newcomer den Einstieg in die additive Fertigung und Kunden mit großem Erfahrungshintergrund attraktive Ansätze für Weiterentwicklungen.

Redaktion: Welche Bedeutung hat die Prozesskette bei der additiven Fertigung?

Prof. Leyens: Der eigentliche additive Herstellungsprozess ist nur ein Teil einer längeren Prozesskette mit vor- und nachgelagerten Schritten. Hierin unterscheidet sich die additive Fertigung im Grundsatz nicht von anderen Herstellungsverfahren, wohl aber im Detail in den Einzelschritten. So muss zunächst der CAD-Datensatz für den lagenweisen Werkstoffaufbau aufbereitet werden. Bei komplizierten Bauteilen kommen dann noch gegebenenfalls Stützstrukturen hinzu, die später wieder entfernt werden. Das generierte Teil muss nach Beendigung des Bauprozesses oft noch wärmebehandelt und schließlich endbearbeitet werden, wenn hohe Genauigkeits- oder Oberflächenanforderungen gegeben sind. Das IWS betrachtet daher nicht nur den eigentlichen Bauprozess sondern die gesamte Prozesskette, denn nur so entsteht am Ende ein Produkt mit den geforderten Eigenschaften.

»In der Wissenschaft gebührt der Ruhm demjenigen, der die Welt von einer Idee überzeugen kann, nicht demjenigen, der die Idee zuerst hatte.«

Sir Francis Darwin



GESCHÄFTSFELDLEITER

PROF. CHRISTOPH LEYENS

☎ +49 351 83391-3242

✉ christoph.leyens@iws.fraunhofer.de

Redaktion: In der Presse liest man häufig vom 3D-Druck. Was verbirgt sich hinter den Aktivitäten des IWS im Bereich des Druckens?

Prof. Leyens: Der Begriff 3D-Druck wird gerne als Synonym für die additive Fertigung verwendet, obwohl es sich beim 3D-Druck genau genommen nur um eine spezielle Verfahrensvariante handelt. Im Bereich Drucken entwickelt das IWS innovative Lösungen zur Herstellung von flächigen oder dreidimensionalen Strukturen und Funktionselementen. Als Verfahren stehen hierfür das Dispenserdrucken mit Pasten, der Aerosoldruck und das Fused Deposition Modelling zur Verfügung. Mittels Drucktechnologien lassen sich so beispielsweise Funktionselemente (Elektronik, Thermoelektrische Generatoren, Sensorik) in Strukturen integrieren, die den Bauteilen vollkommen neue Funktionalitäten verleihen. Die Kompetenzen des IWS schließen neben den Herstellungsprozessen auch die Materialentwicklung in Form von Tinten und Pasten ein.

Redaktion: Das Thema Datenmanagement ist für das IWS ein junges Forschungsgebiet. Wo setzen Sie dort die Schwerpunkte?

Prof. Leyens: Die Verarbeitung großer Datenmengen, ob in Echtzeit oder »off-line« spielt für die Prozesskontrolle und die Qualitätssicherung eine immer wichtigere Rolle. Zurzeit entwickeln wir einen sogenannten Process Data Viewer, ein Software-Programm, mit dessen Hilfe das Aufspüren von Prozessirregularitäten erleichtert wird. Dies geschieht auf vielfachen Kundenwunsch hin, denn die Fehlersuche in einem großen Datenfile ist heute eine arbeitsintensive manuelle Aufgabe, die in Zukunft viel schneller und zuverlässiger durch den Computer übernommen werden kann. Voraussetzung ist aber, dass Algorithmen entwickelt werden, mit denen eine automatische Fehlererkennung vorgenommen werden kann.



KOMPETENZEN UND ANSPRECHPARTNER



Dr. Aljoscha Roch, Gruppenleiter Drucken

☎ +49 351 83391-3415 / ✉ aljoscha.roch@iws.fraunhofer.de

» Neue integrierte Lösungen im Bereich 2D- und 3D-Druck werden durch eine Kombination von Drucktechnologien realisiert. Hierbei werden sowohl Materialien, Druckprozesse als auch Nachbehandlungsschritte wie Sintermethoden für Lösungen aus einer Hand entwickelt. Schwerpunkte bilden dabei das funktionale Drucken, welches die Integration und

Erweiterung von Funktionalitäten jenseits der Formgebung darstellt. Dabei können z. B. Leiterbahnen in 3D-Körpern bereits während der Herstellung integriert werden. Einen Teilbereich stellt die gedruckte Thermoelektrik dar. Die Fokussierung auf thermoelektrischen Materialien in Form von Pasten und Tinten erlaubt es, die Drucktechnologie als industrielles Fertigungsverfahren für thermoelektrische Generatoren zu verwenden. Das Ziel ist es flexible thermoelektrische Generatoren für Sensorik, z. B. für »Structural Health Monitoring« und andere »low power«-Anwendungen im mW bis W Bereich zu verwenden. «



Prof. Dr. Karol Kozak, Gruppenleiter Bildverarbeitung und Datenmanagement

☎ +49 351 83391-3717 / ✉ karol.kozak@iws.fraunhofer.de

» Big Data bezeichnet Datenmengen (Bilder oder alphanumerische Daten), die zu groß oder zu komplex sind oder sich zu schnell ändern, um sie mit manuellen und klassischen Methoden der Datenverarbeitung auszuwerten. Klassische visuelle Bildbearbeitung, relationale Datenbanksysteme sowie Statistik- und Visualisierungsprogramme sind oft nicht

in der Lage, derart große Datenmengen zu verarbeiten. Für Big Data kommen daher neue Arten von Plattformen, Datenspeicher- und Machine Learning Methoden zum Einsatz, die parallel auf bis zu Hunderten oder Tausenden von Prozessoren bzw. Servern arbeiten. Unternehmen erhoffen sich von der Analyse von Big Data Möglichkeiten zur Erlangung von Wettbewerbsvorteilen, zur Generierung von Einsparungspotenzialen und zur Schaffung von neuen Geschäftsfeldern. «



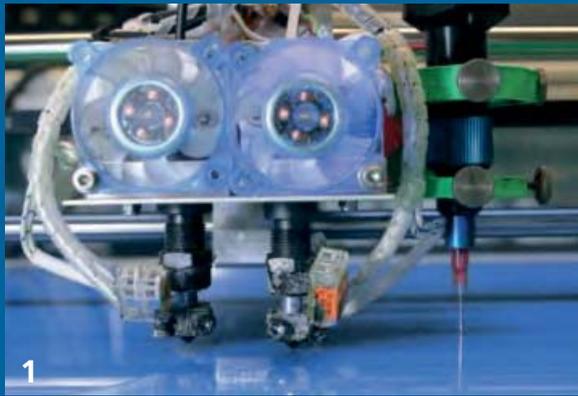
Prof. Dr. Frank Brückner, Gruppenleiter Generative Fertigung
☎ +49 351 83391-3452 / ✉ frank.brueckner@iws.fraunhofer.de



» Für die flexible und effiziente Fertigung individualisierter Produkte entwickelt die Arbeitsgruppe generative Fertigungstechnologien und -prozesse, mit denen moderne metallische und nichtmetallische Konstruktionswerkstoffe zu funktionalen Bauteilen und Strukturen verarbeitet werden. Die Prozesse werden zur Reparatur und Neuteilfertigung eingesetzt und die hergestellten Produkte müssen meist komplexe Beanspruchungsprofile erfüllen. Das besondere Alleinstellungsmerkmal besteht im skalen- und werkstoffübergreifenden fertigungstechnischen Ansatz, so dass die Anwender aus den unterschiedlichsten Branchen von maßgeschneiderten Lösungen profitieren können. «

BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2016

1. 3D-Druck von Polymeren mit integrierter Elektronik und Sensorik	24
2. Prozessmonitoring für additive Fertigungsprozesse	26
3. Funktionsintegrierter 3D-Druck: Die Natur als Vorbild	28
4. Process Data Viewer zur Visualisierung komplexer Daten	30
5. AGENT-3D - Rahmenbedingungen für die Additive Fertigung	32
6. Mikro-generierte Verklammerungsstrukturen	34
7. Kleine Strukturen - große Wirkung	36



3D-DRUCK VON POLYMEREN MIT INTEGRIERTER ELEKTRONIK UND SENSORIK

DIE AUFGABE

Die additive Fertigung ermöglicht eine bislang nicht dagewesene gestalterische Konstruktionsfreiheit. Dadurch kann Bauteilen eine funktionsangepasste Geometrie verliehen werden, die hinsichtlich Materialeinsatz und Effizienz bisher unmöglich war. Mit der Erweiterung der Material- und Technologiepalette weisen im Allgemeinen additiv gefertigte Teile eine hohe Wertschöpfung auf. Durch die zusätzliche Einführung von Funktionalitäten, wie integrierte Sensoren oder Elektronikkomponenten, kann sowohl das Funktionsspektrum als auch die Wertschöpfung von Bauteilen noch weiter erhöht werden.

Mittels Drucktechnologien können vielfältige elektronische Funktionalitäten hergestellt werden. U. a. zählen dazu Sensoren in Form von RFID-Antennen oder weitere Sensoren für die Erfassung von Dehnung, Temperatur oder Druck. Auch die Herstellung von gedruckten Sensoren für die chemisch physikalische Analyse, zur Detektion von Feuchte, Strahlung oder bestimmten chemischen Komponenten sind Stand der Technik.

Die Verfahrenskombination zwischen klassisch additiv gefertigten Teilen und Drucktechnologien wie Dispenserdruck oder Aerosoldruck stellt eine attraktive und wirtschaftliche Möglichkeit dar, komplexe multifunktionale Bauteile in einem Schritt zu fertigen.

UNSERE LÖSUNG

Durch die Kombination von Fused Filament Fabrication (FFF) und Dispensdruck (siehe Infobox) besteht die Möglichkeit, direkt während des Strukturaufbaus die gerade bearbeiteten Bauteile mit zusätzlichen Funktionalitäten auszustatten. Dazu werden mit dem FFF-Drucker überwiegend Strukturmaterialien aus thermoplastischen Kunststoffen hergestellt, mit dem Dispenser können elektronische Materialien gedruckt werden. Für die Umsetzung der Verfahrenskombination wurde ein opensource FFF-Drucker um einen zusätzlichen Dispens-Druckkopf erweitert. Durch den schichtartigen Aufbau der additiv gefertigten Teile des FFF-Druckers können nun in jeder Ebene des Bauteils funktionelle Pasten appliziert werden.

Beim Einsatz eines Atmosphärendruckplasmaverfahrens oder von Heizstrahlern können die per Dispenser gedruckten Strukturen schnell und effizient getrocknet und gesintert werden. Dadurch ist eine funktionelle Erweiterung mittels Dispensdruck sowohl auf der Oberfläche von FFF-Bauteilen als auch die vollständige Integration dieser Strukturen in das Bauteil möglich. Eine Kombination dieser Technologie mit anderen generativen Verfahren ist ebenfalls möglich.

Elektrische Leiterbahnen auf einer unebenen FFF-Oberfläche





3

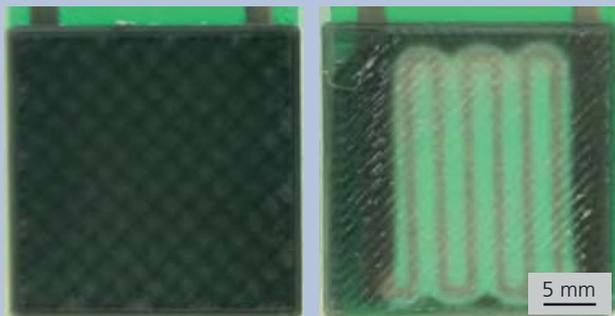
ERGEBNISSE

Zur Demonstration dieser Verfahrenskombination wurden per Dispensdruck z. B. Heizstrukturen aus Silberpaste in ein FFF-Bauteil aus ABS integriert. Diese Heizstrukturen können zur oberflächennahen Erwärmung von verschiedenen Systemen genutzt werden. Zur besseren Veranschaulichung der Wirkungsweise wurde für Abbildung 4 ein thermochromatisches Filament verwendet, welches bei Raumtemperatur schwarz und bei Temperaturen über 40 °C weiß bis transparent wird.

Das direkte Auftragen von Leiterbahnen auf gekrümmte bzw. unebene Bauteiloberflächen ist ebenfalls möglich (Abb. 2). Dadurch lassen sich oberflächennahe Funktionen in Bauteilen realisieren.

Auch komplexere Funktionalitäten wie Interdigitalelektroden für chemische Messungen lassen sich nun innerhalb eines Bauteils an die gewünschten Orte platzieren. In Abbildung 3 ist eine Interdigitalelektrodenanordnung zu sehen, welche in Li-Ionen-Batterien eingesetzt wird. Die Elektroden bestehen demnach aus Lithiumeisenphosphat und Lithiumtitanat.

Integrierte Heizstrukturen in einem FFF-Bauteil



4

Das Fraunhofer IWS arbeitet sowohl an der Entwicklung von Pasten für die jeweiligen elektronischen Funktionalitäten als auch im Bereich der Integration dieser in additiv gefertigten Bauteilen.

Infobox: Fused Filament Fabrication (FFF) und Dispensdruck

Fused Filament Fabrication (FFF)

Schichtweises Drucken eines aufgeschmolzenen Filaments aus Kunststoff zum 3-dimensionalen Strukturaufbau. Filamente sind typischerweise Thermoplaste, welche jedoch auch als Komposit-Filament gefüllt mit Metallpartikeln, Naturfasern, Glasfasern u. a. genutzt werden.

Dispensdruck

Verdrucken einer viskosen Paste/Tinte. Die Paste wird durch ein x,y,z-Bewegungssystem als Strang mittels Nadel (Nadeldispenser) oder tröpfchenweise (Jetdispenser) an die gewünschte Stelle gebracht. Pasten können Metall, Keramik, Kunststoffe oder Nanopartikel enthalten.

- 1 FFF-Drucker mit integrierter Dispenseinheit
- 3 Gedruckte Interdigitalelektrode für Li-Batterien (Dispensdruck)

KONTAKT

M. Sc. Lukas Stepien

+49 351 83391-3092

lukas.stepien@iws.fraunhofer.de





PROZESSMONITORING FÜR ADDITIVE FERTIGUNGSPROZESSE

DIE AUFGABE

Geringe Abweichungen einzelner Verfahrensparameter haben erheblichen Einfluss auf das Ergebnis additiver Fertigungsverfahren. Neben der Variation von Hauptparametern, wie z. B. Laserleistung oder Aufbaustrategie, rückt immer mehr die ganzheitliche Überwachung des Fertigungsprozesses in das Blickfeld der Anwender. Ziel ist es, neue Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, welche in-situ Aussagen über die resultierende Bauteilqualität liefern.

Durch den prozesscharakteristischen lagenweisen Aufbau unterliegen Aufbaufekte teilweise einem kumulativen, sich fortführenden Effekt, während die Randbedingungen eine permanente Änderung erfahren. Derartige Schwankungen müssen sicher erkannt und ausgeglichen werden. Insbesondere bei der additiven Fertigung von Bauteilen aus herausfordernden Werkstoffen, wie zum Beispiel Titanaluminiden oder Nickelbasissuperlegierungen, ist das stabile Prozessfenster derartig verengt, dass die Beherrschung nur unter Einsatz von geeigneten Prozessregelungssystemen gelingen kann.

Bedingt durch die speziellen Maßgaben beim laserbasierten Generieren müssen für eine Vielzahl von Prozessparametern angemessene Erfassungsmöglichkeiten anforderungsgerecht adaptiert oder neu entwickelt werden. Insbesondere die Wärmebelastung und Streustrahlung stellen dabei für Messungen in der Nähe der Prozesszone eine besondere Herausforderung dar.

UNSERE LÖSUNG

Ein breites Feld der Messaufgaben kann durch Temperaturerfassungssysteme abgedeckt werden. Kamerabasierte Systeme sind der Messung mit einem Pyrometer oder Thermofühler überlegen, da sie nicht nur die Temperatur, sondern auch Temperaturgradienten auf der Bauteiloberfläche bestimmen und gleichzeitig geometrische Prozessgrößen erfassen können. Zudem bieten derartige Systeme den Vorteil, indirekt und somit rückkopplungsfrei zum Prozess zu messen.

Darüber hinaus stellt die Integration sensorischer Elemente Funktionen zur Zustandserfassung zur Verfügung (vgl. Abb. 3). Mit der umfangreichen Überwachung wird nicht nur ein Beitrag zur Betriebssicherheit der Anlagentechnik geleistet und der Zustand der Systemtechnik bewertet, sondern auch die Möglichkeit zur Qualitätssicherung gegeben. Ziel ist es einen fehlerhaften Zustand im Prozess zu detektieren ohne diesen direkt beeinflusst zu haben.

ERGEBNISSE

Mit dem Einsatz von Kameras können in Verbindung mit leistungsfähigen Bildverarbeitungssystemen Prozessgrößen über anwendungsangepasste Softwaretools erfasst werden (Abb. 1). Durch Rückkopplung zum Prozess werden Regelungsfunktionen bereitgestellt, welche wesentlich zur Stabilisierung des Prozesses beitragen.

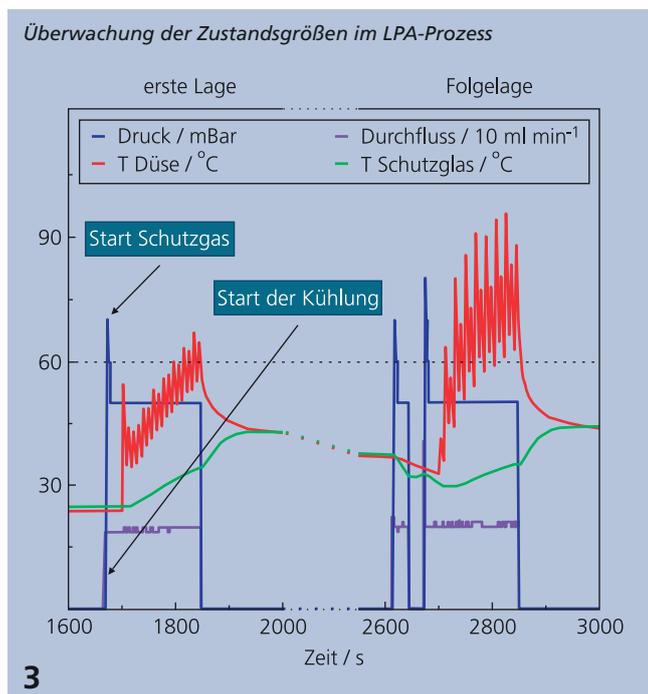


2

So kann zum Beispiel durch den Einsatz eines auf Kameradaten basierenden Bildverarbeitungssystems die Prozessstabilität beim induktionsgestützten Laser-Pulver-Auftragschweißen entscheidend verbessert werden. Mit den am Fraunhofer IWS entwickelten Systemen werden sowohl die Bauteiltemperatur als auch geometrische Merkmale erfasst und geregelt. Die für die fehlerfreie Verarbeitung notwendige Bauteiltemperatur wird durch eine automatische Anpassung der induktiv eingekoppelten Leistung eingestellt. Mit Hilfe des Bildverarbeitungssystems sind somit auch besonders rissanfällige Legierungen bearbeitbar. Die Messwerte werden direkt in die Bearbeitungsanlage zurückgekoppelt und nachgeregelt. Auf diese Weise stellt sich auch bei wechselnden Umgebungsbedingungen stabile Prozessbedingungen und damit ein gleichmäßiges Bearbeitungsergebnis ein (Abb. 2).

Darüber hinaus werden die Informationen aus der Prozesszone mit den Daten zum Zustand des Prozesskopfes für Dokumentationszwecke ergänzt und in einem standardisierten Datenformat abgelegt. Parallel zur prozesssimultanen Regelung von Parametern erfolgt auf dieser Basis eine in-situ Überwachung des Anlagenzustandes. So wird es möglich, durch die geeignete Auswahl von Prozessgrenzen frühzeitig kritische Zustände zu erkennen und die Systemtechnik durch frühzeitige Abschaltung vor Beschädigungen zu schützen.

Letztlich dient die eingesetzte Messtechnik auch der Validierung der am Fraunhofer IWS entwickelten Prozessmodelle und somit dem Ausbau des Prozessverständnisses.



3

- 1 Vergleich einer ohne (links) und mit Prozessregelung (rechts) aufgebauten Turbinenschaufelgeometrie aus Titanaluminiden
- 2 Bildverarbeitungstool zur Prozessregelung für das hybride Laser-Pulver-Auftragschweißen

KONTAKT

Prof. Dr. Frank Brückner

+49 351 83391-3452

frank.brueckner@iws.fraunhofer.de





FUNKTIONSINTEGRIERTER 3D-DRUCK: DIE NATUR ALS VORBILD

DIE AUFGABE

Für viele Formen und Geometrien bietet die Natur ausgeklügelte Lösungen mit einem nahezu perfekten Verhältnis hinsichtlich Festigkeit, Leichtbau und Funktionalität. Die Übertragung solcher von der Natur optimierten Strukturen auf die Technik hat schon Leonardo da Vinci inspiriert, Flügel für Flugapparate zu zeichnen und zu konstruieren.

Oft setzt die Natur zwar periodisch wiederkehrende Elemente ein, bspw. netzartige Blattadern oder zellular aufgebaute Knochenkerne, diese sind im Detail dennoch in Form und Größe verschieden. Dieser Detailreichtum und die geometrische Unbestimmtheit stellt speziell die technische Konstruktion und Fertigung vor große Herausforderungen.

Mit den modernen additiven Fertigungsverfahren und den optischen Werkzeugen der Nachkonstruktion (Reverse Engineering) wird eine direkte Umsetzung der Gestaltungsmöglichkeiten aus der Natur oder bereits vorhandener Bauteile ermöglicht. Neben der gestalterischen Freiheit können Funktionen, bspw. bewegliche Verbindungen, integriert sowie Größenänderungen durch Skalierung umgesetzt werden.

UNSERE LÖSUNG

Zur flexiblen, direkten und werkzeuglosen Replikation von natürlichen oder technischen Objekten kommen am Fraunhofer IWS Dresden pulverbett- oder düsenbasierte additive Fertigungsverfahren zur Anwendung. Verschiedene Instrumente des Reverse Engineerings, also der digitalen Objekt-Rekonstruktion durch Erzeugung von Geometriedaten, ergänzen das Portfolio.

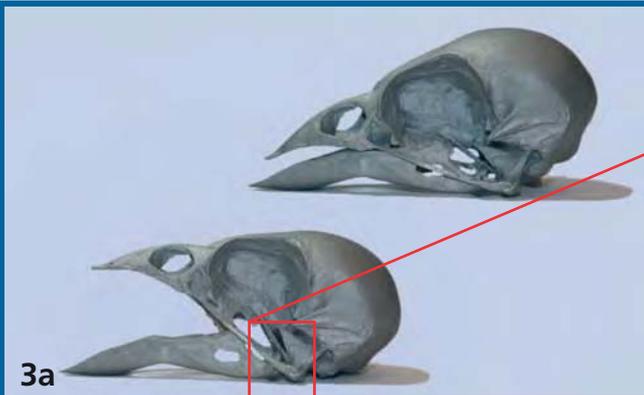
Für die Additive Fertigung stehen das Laser-Auftragschweißen mit Pulver oder Draht sowie das Laser- und Elektronenstrahlschmelzen zur Verfügung. Das Reverse Engineering erleichtert und beschleunigt vor allem den Konstruktionsaufwand mit Hilfe der verfügbaren optischen Messsysteme zum 3D-Scanning.

Ein Objekt, bestehend aus mehreren Komponenten, soll in einem 3D-Aufbau bzw. in einem Druckdurchgang mit möglichst geringem Nachbearbeitungsaufwand generativ gefertigt werden können. Zusätzliche Fügeoperationen bspw. für Gelenke oder Federelemente entfallen somit.

Je nach Größe und Komplexität des Objektes erarbeitet dazu das Fraunhofer IWS Umsetzungslösungen, welche die Gesamtheit aller Teilprozesse betrachtet. Hierzu zählen die Geometriedatenerfassung, Technologie- und Strategieberatung, CAD-/CAM-Bearbeitung, Prozessbeobachtung und -kontrolle, Nachbearbeitung und die Bauteilinspektion bzw. -charakterisierung.

3D-Scan eines Vogelschädels, Datenbasis für einen additiven Aufbau





ERGEBNISSE

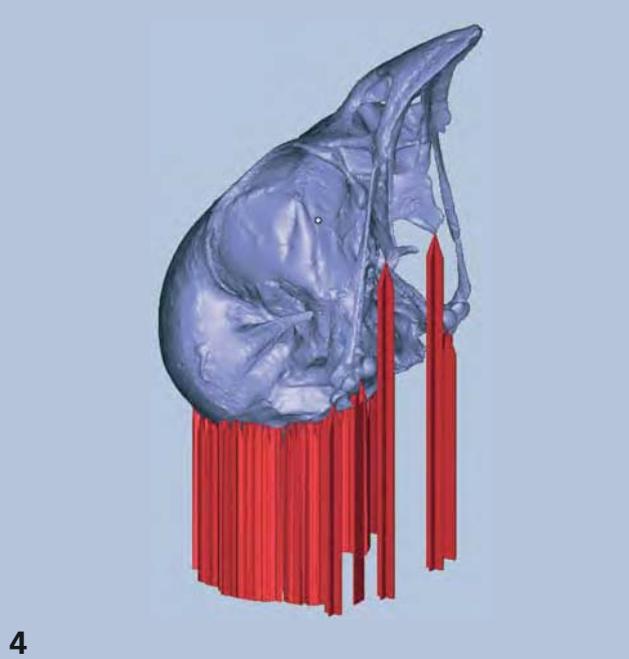
Anhand der Replikation des Schädelknochens eines Mauerseglers konnte die Prozesskette zur Realisierung eines funktionsintegrierten 3D-Druckes aufgezeigt werden (Abb. 1). Der Originalschädel weist Kavitäten in Form der Augenhöhlen und des Gehirns sowie zwei bewegliche Verbindungen zwischen Schädel und Schnabel auf.

Das Replikat, also der metallische Mauersegler, ist mit dem Verfahren Laserstrahlschmelzen im Maßstab 1:1 und 4:1 aufgebaut worden. Auf Grundlage des polygonisierten 3D-Scans des Originalschädels erfolgte die Ableitung der Aufbaustrategie (Abb. 2). Abbildung 4 zeigt die Aufbaurichtung sowie die benötigte Supportstruktur.

Die Beweglichkeit des Schnabels ist in Abbildung 3 dargestellt. Das Gelenk besteht aus der Gelenkpfanne und dem Gelenkkopf. Diese ineinandergreifenden Elemente wurden in einem Druckdurchgang aufgebaut und gewährleisten, wie beim Original, das Öffnen und Schließen des Schnabels.

Mit der Replikation von natürlichen Strukturen und Funktionselementen unter Verwendung technischer Werkstoffe kann somit die Bauteilgestaltung um vielzählige natur-optimierte Lösungen erweitert werden. Ein großes Anwendungspotenzial wird hierbei im gesamten Bereich der Mobilität gesehen, wie bspw. der Schienenverkehr sowie in Luft- und Raumfahrt, welche insbesondere hochstabile, aber leichte Komponenten benötigt.

Datenvorbereitung für das Laserstrahlschmelzen, Positionierung und Aufbaurichtung



1 Original und Replikation eines Vogelschädels

3a Darstellung der Funktionsintegration, beweglicher Schnabel

3b Detailaufnahme des gedruckten Gelenkes

KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Finaske

+49 351 83391-3490

thomas.finaske@iws.fraunhofer.de





PROCESS DATA VIEWER ZUR VISUALISIERUNG KOMPLEXER DATEN

DIE AUFGABE

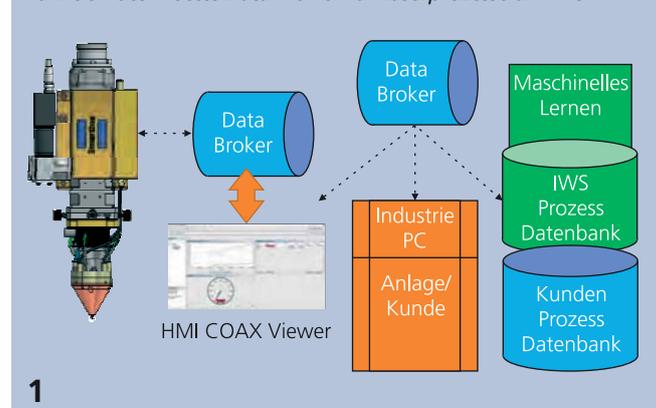
Das Kompetenzzentrum Datenmanagement ist eine Kooperation mit der TU Dresden und dem Universitätsklinikum Dresden. Gemeinsam entwickeln die Partner interaktive Visualisierungssysteme und Methoden zur Bearbeitung großer Datenmengen. Im Fokus stehen Sensordaten, digitale Bilddaten, Prozessparameter und Patientendaten. Forschung und Entwicklung reichen von der Sensorik, Statistik, maschineller Mustererkennung, Bildakquisition über die Bildverarbeitung, die Modellierung und Visualisierung bis hin zum User Interface- und Applikationsdesign.

Datenmanagement und der verantwortungsvolle Umgang mit Daten sind ebenso wichtige Themen bei Laserprozessen. Doch die Verwaltung von Prozessdaten, beispielsweise Prozessparameter, kostet die Endanwender bis zu einem Viertel ihrer Arbeitszeit. Zudem erzeugen die Systemtechnikensensoren unterschiedliche Datentypen. Schnell geht die Übersichtlichkeit verloren. Auch in den Produktionsanlagen hat die digitale Revolution längst eingesetzt. Cyberphysische Systeme verbinden Prozesse, Produkte, Betriebsmittel und Beschäftigte, kommuniziert wird via Internet. Der Begriff »BigData« beschreibt den Umgang mit Datenstrukturen, die in ihrer Größe, Diversität und Komplexität neue Datenverarbeitungs- und Analysetechniken erfordern, um daraus verborgenes Wissen zu gewinnen. Dieses Wissen findet dann wiederum Eingang in Prozesse, so dass »Maschinelles Lernen« möglich wird. Solche Lösungen werden am Fraunhofer IWS Dresden im Laborbetrieb erprobt.

UNSERE LÖSUNG

In Laserprozessen, bei denen Leistungswerte, Druckwerte, Positionsdaten, Bilder, Videodaten und Bussignale gesammelt werden, stellt sich letztlich das Problem der Analyse selbiger. Eine angemessene Verdichtung und Darstellung der Prozessdaten erleichtert dem Anwender deren Interpretation und die Entscheidungsfindung. Die interaktive Visualisierung ermöglicht eine automatisierte Analyse von Prozessdaten. Zusammenhänge und Muster sind schnell und einfach erkennbar, Prozessausfälle sowie Grenzwertüberschreitungen werden identifiziert. Für die interaktive Datenexploration können Visualisierungstechniken eingesetzt werden. Diese ermöglichen einen globalen Überblick über die gesammelten Daten als auch die Definition von Grenzwerten und das Erkennen von Spezifikationsabweichungen, auch in Echtzeit (Abb. 1).

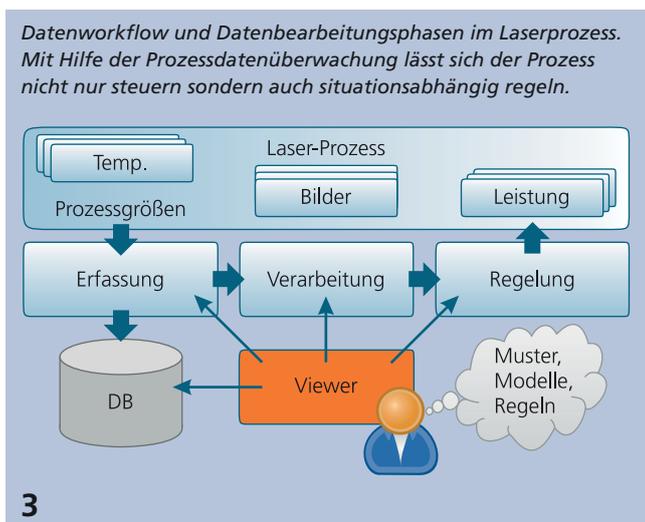
Funktion des Process Data Viewer für Laserprozesse am IWS





ERGEBNISSE

Der Prozess Data Viewer ermöglicht es, aufgezeichnete Datensätze eines bereits abgeschlossenen Prozesses sinnvoll in Zusammenhang zu bringen, um eben diesen Prozess zu analysieren und nachfolgend zu regeln. Außerdem lassen sich alle Parameter während des Bearbeitungsvorgangs erfassen und für ein lückenloses Tracking & Tracing übernehmen. Wichtige Parameter für das Laserschweißen, -auftragen oder -schneiden sind z. B. die Temperatur des Schmelzbades und Bauteils, die Laserleistung, Prozessgasdrücke und der Abstand der Bearbeitungsoptik zum Bauteil sowie das Bild der Bearbeitungszone.



Der Benutzer ist in der Lage, die Ansicht eines Prozesses zu erstellen (Abb. 3). Er erhält z. B. den zeitlichen Verlauf der Temperatur des Schmelzbades, der Laserleistung und des Prozessbildes.

Kompetenzprofil der Gruppe Bildverarbeitung und Datenmanagement des Fraunhofer IWS:

- Forschen an Industrie 4.0 Technologien für Prozessdaten
- Datenverwaltung und Datenauswertung
- Entwicklung von Bilddatenbanken und Technologien
- Bildverarbeitung und interaktive Visualisierung von Prozessdaten
- Entwicklung von Software für Datenanalyse und Datenmodellierung

Komplementäre Kompetenzprofile der Kooperationspartner:

- professionelle Softwareentwicklung und Beratung:
 - objektorientierte Programmiersprachen: J2EE, .NET, Python
 - professionelle Projektverwaltung: Scrum-Agile Modell
 - IT & Softwarearchitektur Modellierung
- Datenverwaltung und Datenauswertung:
 - Entwicklung von Technologie und Datenstandards für Verwaltung von digitalen Bildern und Metadaten
 - automatische Echtzeit-Datenbearbeitung und Verwaltung
 - multiparametrische und statistische Datenauswertung, Visualisierung, Management
 - Visual-Analytics

KONTAKT

Prof. Dr. Karol Kozak

+49 351 83391-3717

karol.kozak@iws.fraunhofer.de



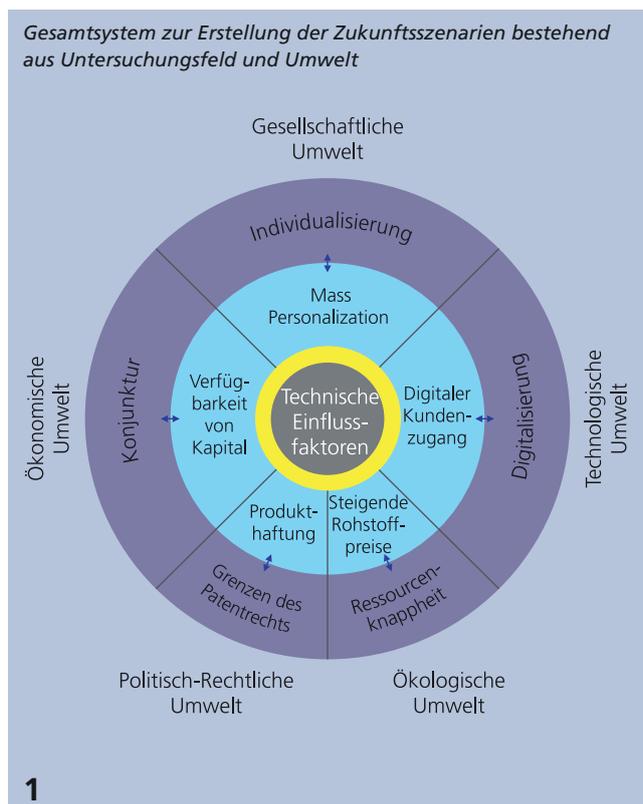
AGENT-3D - RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG

DIE AUFGABE

Der Markt für Additive Fertigungsverfahren und additiv gefertigte Produkte steigt rasant. Dementsprechend wächst auch die Zahl der Unternehmen, die sich für die neue Fertigungstechnik interessieren, stark an. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes »AGENT-3D« evaluiert das Fraunhofer IWS gemeinsam mit einem Konsortium von mehr als 100 Partnern das Potenzial der Additiven Fertigung. Bestehende technologische und wirtschaftliche Grenzen und Möglichkeiten zu ihrer Überwindung sind aufzuzeigen, um Wachstum zu schaffen.

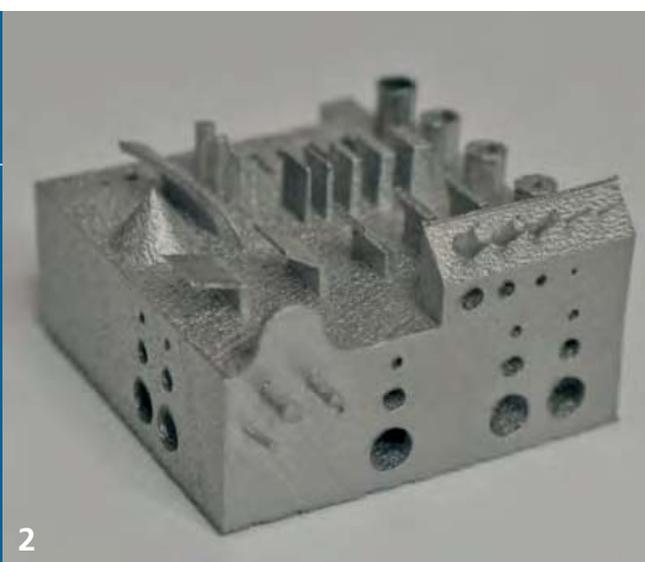
UNSERE LÖSUNG

Im Rahmen des BMBF-Förderprogramms »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« haben zwölf Forschungseinrichtungen und über 45 Unternehmen unter wissenschaftlicher Federführung des Fraunhofer IWS Dresden die strategische Allianz »AGENT-3D – Die 3D-Revolution zur Produktherstellung im Digitalzeitalter« ins Leben gerufen. Nach dem erfolgreichen Abschluss der Strategiephase führen aktuell 111 Partner die 2 Basisvorhaben und 7 Technologievorhaben der Allianz durch. Das interdisziplinäre Team mit 82 Prozent industrieller Beteiligung sichert den Aufbau eines starken Netzwerkes zwischen Großindustrie, Mittelstand und Forschungsinstituten in Deutschland und entwickelt die Additive Fertigung zu einer Schlüsseltechnologie.



Aus den im Strategieprozess gewonnenen, detaillierten Ergebnissen einer Umfeldanalyse werden im Basisprojekt »Rahmenbedingungen für die Additive Fertigung« gesellschaftspolitische, volks- und betriebswirtschaftliche sowie technologische und rechtliche Rahmenbedingungen definiert und Möglichkeiten zur positiven Beeinflussung derselben aufgezeigt. Die Grundlagenerkenntnisse, mit im Schwerpunkt interdisziplinärem Charakter, finden nachfolgend in den Technologievorhaben von AGENT-3D Anwendung. Folgende Themenfelder werden innerhalb des Basisprojektes tiefgründig untersucht:

- Wirkung sozioökonomischer Faktoren auf die Entwicklungschancen der Additiven Fertigung
- Urheberrechtlicher/patentrechtlicher Schutz, Produkthaftung, wettbewerbsrechtliche Anforderungen
- neue Wege in Konstruktion und Design
- Prozesssicherheit, Materialien, Qualitätssicherung
- Schnittstellen und Standardisierung



ERGEBNISSE

Die Bildung von Zukunftsszenarien, in denen mögliche Entwicklungsszenarien für den Einsatz der Additiven Fertigung sowie Änderungen in der Wertschöpfungsorganisation abgebildet werden, steht im Vordergrund der sozioökonomischen Studien. Dabei besteht eine wesentliche Aufgabe darin, maßgebliche Einflussfaktoren für den Einsatz der Additiven Fertigung zu antizipieren (Abb. 1).

Das Umweltsystem, bestehend aus den Bereichen Politik/Recht, Wirtschaft, Gesellschaft, Ökologie und Technologie umgibt das Untersuchungsfeld und wirkt auf unterschiedliche Weise über die Einflussfaktoren auf dieses ein. Es kann von den Akteuren im Untersuchungsfeld (z. B. Firmen oder Forschungseinrichtungen) nur in geringem Umfang oder gar nicht beeinflusst werden. Neben den für die Additive Fertigung spezifischen nicht-technischen Faktoren, wie z. B. die Verfügbarkeit von Kapital oder steigende Rohstoffpreise, wurden die maßgeblichen technischen Faktoren, wie z. B. Materialverfügbarkeit und Produktivität identifiziert.

Das Thema rechtliche Rahmenbedingungen wurde mit der Gründung einer zentralen Informationsstelle zu Rechtsfragen weiterentwickelt, die online über die Website www.agent-3d.de erreichbar ist. Sie adressiert Fragen zum Urheberschutz, Produktschutz, Datenschutz und zur Haftung in Verbindung mit additiv-generativen Fertigungsverfahren. Aktuelle Anwenderfälle können anhand der Plattform mit Experten diskutiert werden, um konkrete Lösungsansätze zu finden.

Möglichkeiten und Grenzen neuartiger Gestaltungskonzepte in der Additiven Fertigung wurden anhand der verfahrensspezifischen Gestaltungsmöglichkeiten analysiert.

Herausfordernde geometrische Merkmale, wie z. B. Überhänge oder Gitterstrukturen, wurden identifiziert, in verfahrensspezifischen Demonstratoren abgebildet (Abb. 2) und hinsichtlich der Qualität geprüft. Dadurch wird die Bewertung der geometrischen Limitierungen der einzelnen additiven Fertigungsverfahren ermöglicht.

Erhebliche Fortschritte sind im Bereich der Qualitätssicherung zu verzeichnen. Grundvoraussetzung für die additive Herstellung von kostengünstigen und qualitativ hochwertigen Produkten ist die Einhaltung von Qualitätsstandards in jedem Teilschritt der Prozesskette. Durch ein neues Mess- und Prüfzentrum für Additive Fertigung, mit Messverfahren wie u. a. Computertomographie, Röntgengrobstrukturanalyse und Ultraschallprüfung, werden verfahrensspezifische Merkmale sowie spezielle Fehlerhäufigkeiten der verschiedenen Technologien aufgezeigt. Die Qualitätssicherung für die Additive Fertigung wird weiterhin um Prozessmodellierung und Auswirkungsanalysen erweitert. Das Mess- und Prüfzentrum am Fraunhofer IWS Dresden stellt eine zentrale Anlaufstelle für Mess- und Prüfaufgaben in der Additiven Fertigung in Deutschland dar.

»AGENT-3D« wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« gefördert (FKZ 03ZZ0201 bis FKZ 03ZZ0211).

2 Mittels SLM gefertigter Demonstrator zur Abbildung herausfordernder Geometrien

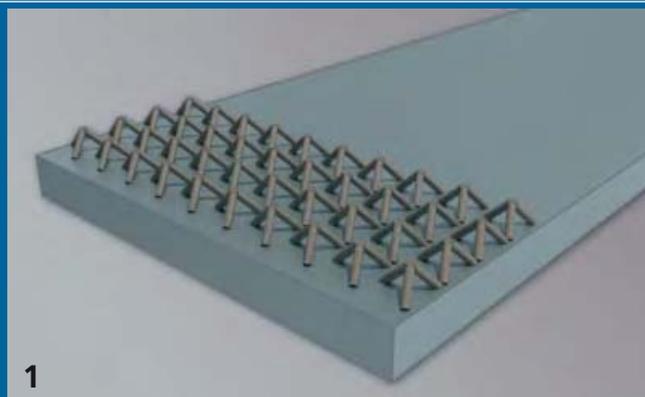
KONTAKT

Dr. Elena López

+49 351 83391-3296

elena.lopez@iws.fraunhofer.de





MIKRO-GENERIERTE VERKLAMMERUNGS- STRUKTUREN

DIE AUFGABE

Die Produktoptimierung hinsichtlich Leichtbau, Funktionsintegration und Kostenersparnis ist branchenübergreifend ein wesentlicher Bestandteil der Forschung und Entwicklung. In diesem Zusammenhang ist die Multimaterial-Mischbauweise ein global zu beobachtender Trend. Gemäß dem Leitspruch »Das richtige Material am richtigen Ort.« verspricht eine solche Hybridbauweise beispielsweise eine Gewichtsersparnis durch den Einsatz von leichten Kunststoffen in mechanisch geringer belasteten Bauteilregionen oder eine Erhöhung der Betriebstemperaturen von Strahltriebwerken durch den Einsatz von keramischen Dämmschichten in thermisch hochbelasteten Bauteilregionen, während die nötigen Festigkeiten durch metallische Komponenten erreicht werden.

Gleichzeitig können durch eine solche Materialkombination Zusatzfunktionen im Bauteil integriert werden, die eine reine Metallbauweise nicht ermöglichen kann. Dazu zählen beispielsweise Schwingungsdämpfung, thermische und elektrische Isolation oder Korrosionsschutz.

Der Übergang vom klassischen »monolithischen«, aus einem einzigen Material gefertigten Bauteil hin zu Mischbauweisen aus artfremden Werkstoffen bringt große Herausforderungen mit sich. Per Definition ist hierbei ein Fügeprozess von Nöten, der in der Lage ist, derartig unterschiedliche Materialien dauerhaft und robust miteinander zu verbinden.

UNSERE LÖSUNG

Mit Hilfe der additiven Verfahren lassen sich skalenübergreifend sowohl sehr filigrane als auch große Bauteildimensionen im Bereich von mehreren Metern realisieren. Für die zuvor angesprochene Übergangsstelle zwischen Kunststoff und Metall oder Keramik und Metall bieten sich Strukturen an, die direkt auf dem metallischen Substrat generativ durch eine Vielzahl übereinanderliegender Schweißraupen hergestellt werden, um anschließend mit dem Kunststoff oder der Keramik verankert zu werden. Besonders der reproduzierbare Aufbau von filigranen Mikrostrukturen mit variierenden Querschnittsformen in großer Stückzahl erfordert allerdings ein präzises Vorgehen in allen Prozessbereichen und Genauigkeit in der systemtechnischen Komponentenfertigung.

Die maßgeschneiderten Mikrostrukturen lassen sich individuell z. B. mit Hinterschneidungen ausführen (Abb. 1). Letztere ermöglichen im späteren Einsatz eine mechanisch hochbelastbare Verklammerung zwischen einem metallischen Substrat und dem darüber liegenden Fügepartner.

Zur Gewährleistung einer möglichst guten Anhaftung des schmelzflüssigen Kunstoffs, der auch faserverstärkt sein kann, wurden entsprechende CAD- / CAM-Werkzeuge angepasst und eingesetzt. Auf diese Weise kann der Herstellungsprozess optimiert werden.



ERGEBNISSE

Mit Hilfe des Hochpräzisions-Laser-Pulver-Auftragschweißens ist es möglich, sowohl auf rotationssymmetrische oder ebene Substrate als auch auf Freiformflächen präzise Strukturen mit einem hohen Gestaltungsspielraum reproduzierbar, prozesssicher, schnell und wirtschaftlich zu applizieren.

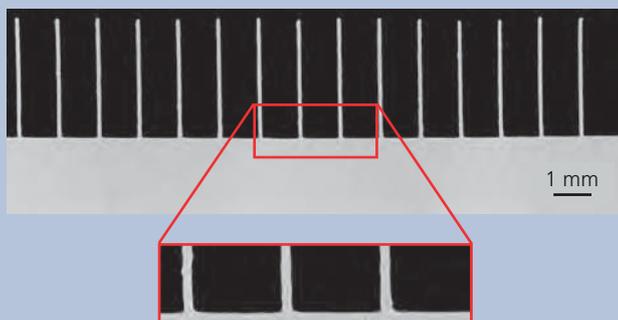
Ein wesentlicher Vorteil der entwickelten Übergangsstelle liegt dabei in der Kräfteinleitung in das Volumen des Kunststoffes gegenüber einer reinen Grenzflächenwirkung im Falle herkömmlicher Verbindungsverfahren, wie z. B. adhäsiver Verbindungen. Durch komplex aufgebaute Strukturen lassen sich sensible Übergangsstellen abdichten sowie vor der eigentlichen Verbindung mit einer Zwischenlage versehen. Insbesondere im Medizin- / Dentalbereich ist Letzteres notwendig, um z. B. einer bakteriellen Schädigung durch eine nicht intakte Verbindungsstelle entgegenzuwirken.

Darüber hinaus lassen sich auch unterschiedliche metallische Werkstoffe einsetzen, die entsprechend der notwendigen Belastungen im Einsatzfall angepasst sind. Selbst die Variation der Werkstoffzusammensetzung, z. B. für den Aufbau von Gradienten, ist in Dimensionen bis hin in den zweistelligen Mikrometerbereich möglich. Direkt auf die generierten Strukturen lassen sich gegebenenfalls funktionale Elemente weiter generativ aufbauen.

Wie Abbildung 4 veranschaulicht, lassen sich trotz der geringen Dimensionen metallurgische Werkstoffverbunde lagenweise und porenfrei aufbauen. Dank der sukzessiven Weiterentwicklung von Prozessen und Systemen sowie begleitenden Maßnahmen zur Qualitätssicherung wird die Technologie bereits heute erfolgreich in zivilen Strahltriebwerken der neuesten Generation eingesetzt.

2-3 Struktur zur Verbindung von Metall und Kunststoff

Querschnitt einer porenfreien stegförmigen Verklammerungsstruktur mit fester metallurgischer Substratanbindung



4

KONTAKT

Dipl.-Ing. Mirko Riede

+49 351 83391-3188

mirko.riede@iws.fraunhofer.de



KLEINE STRUKTUREN – GROSSE WIRKUNG



DR. DAN ROTH-FAGARASEANU

Associate Fellow – Materials
Materials and Manufacturing Capability Acquisition
Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG

Redaktion: Herr Dr. Roth-Fagaraseanu, bereits im Jahr 1993 hat Rolls Royce erste Forschungsaufträge an das IWS gegeben, seit 1997 besteht eine kontinuierliche Zusammenarbeit. Was hat für Sie den Ausschlag gegeben, mit dem IWS zusammenzuarbeiten?

Dr. Roth-Fagaraseanu: Mit den Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft arbeiten wir seit vielen Jahren zusammen. Die Kombination von Werkstoffkompetenz und Prozessentwicklung mit umfangreichem Know-how auf dem Gebiet der Simulation von Laserprozessen, insbesondere in den Bereichen Laserhärten und -auftragschweißen, hat uns letztlich zum IWS Dresden geführt. Die Expertise des Institutes auf dem Gebiet der Prozesssimulation hat uns begeistert.



PROF. DR. FRANK BRÜCKNER

Gruppenleiter Generative Fertigung
Fraunhofer IWS

Redaktion: Welche Zielstellungen haben die Projekte mit dem IWS verfolgt?

Dr. Roth-Fagaraseanu: Im Hinblick auf die Verbesserung der Effizienz von Flugzeugtriebwerken und die Verringerung des CO₂-Ausstoßes standen wir vor der Aufgabe, bessere und kosteneffektivere Schutzbeschichtungen für die Gasturbinentriebwerke zu entwickeln. Wir hatten festgestellt, dass die Grenzfläche zwischen der Nickelbasislegierung und der keramischen Wärmedämmschicht der Schlüssel dafür ist. Zum damaligen Zeitpunkt war das Verständnis für die Vorgänge an der Grenzfläche nur lückenhaft. Mit Hilfe der am Fraunhofer IWS möglichen Simulation von Wärmeleitung und Wärmeübergang von der Schicht zum Substrat konnten Schwachstellen analysiert und Lösungsansätze aufgezeigt werden. Die Haftfestigkeit der Schichten am Substrat musste verbessert werden. Die Simulation hat uns zudem gezeigt, dass gezielt eingebrachte Segmentierungsrisse in der keramischen Schicht helfen können, die Wärmeausdehnung der Schichten unter Temperaturbelastung zu steuern und das Abplatzen der Schichten zu vermeiden.



Redaktion: Was waren die härtesten Meilensteine in der Zusammenarbeit?

Dr. Roth-Fagaraseanu: Schon die Definition der optimalen Oberflächenstruktur für eine gute Anbindung der Wärmedämmschichten, die unter permanenter Temperaturwechselbeanspruchung stehen, war eine große Herausforderung. Die technische Umsetzung dieser Struktur auf der Oberfläche eine noch größere. Ein äußerst präziser Laser-Auftragschweißprozess war notwendig, um eine definierte 3-dimensionale Oberflächenmorphologie zu erzeugen. Damit wurde einerseits die Anbindung der keramischen Spritzschicht an das Substrat verbessert und gleichzeitig eine hohe Anzahl an Segmentierungsrissen in der Schicht induziert.

Prof. Brückner: Schon die Fertigung der Oberflächenstruktur in den Laboren des IWS hat uns viel abgefordert. Die Optimierung der Prozessparameter ging einher mit der Entwicklung von Systemtechnik für die Pulverzufuhr und Prozesskontrolle. Die härteste Aufgabe war jedoch die Industrialisierung der Technologie und der Transfer des IWS-Know-hows an den Zulieferer von Rolls Royce. Neben dem Aufbau der speziellen Oberflächenmorphologie durch Laserauftragschweißen war eine Optimierung der Spritztechnologie erforderlich, um die Segmentierungsrisse kontrolliert und reproduzierbar zu erzeugen. Eine on-line Partikelüberwachung kam ebenso zum Einsatz wie eine präzise Substrattemperaturkontrolle bei hohen Temperaturen und eine neue APS Spritztechnologie. Alle Einflussgrößen im Industriemaßstab in Einklang und innerhalb von zwei Jahren zu einem wirtschaftlichen Prozess zu bringen, war ein hartes Stück Arbeit für alle Beteiligten.

Redaktion: Was schätzen Sie an der Zusammenarbeit mit dem Partner ganz besonders?

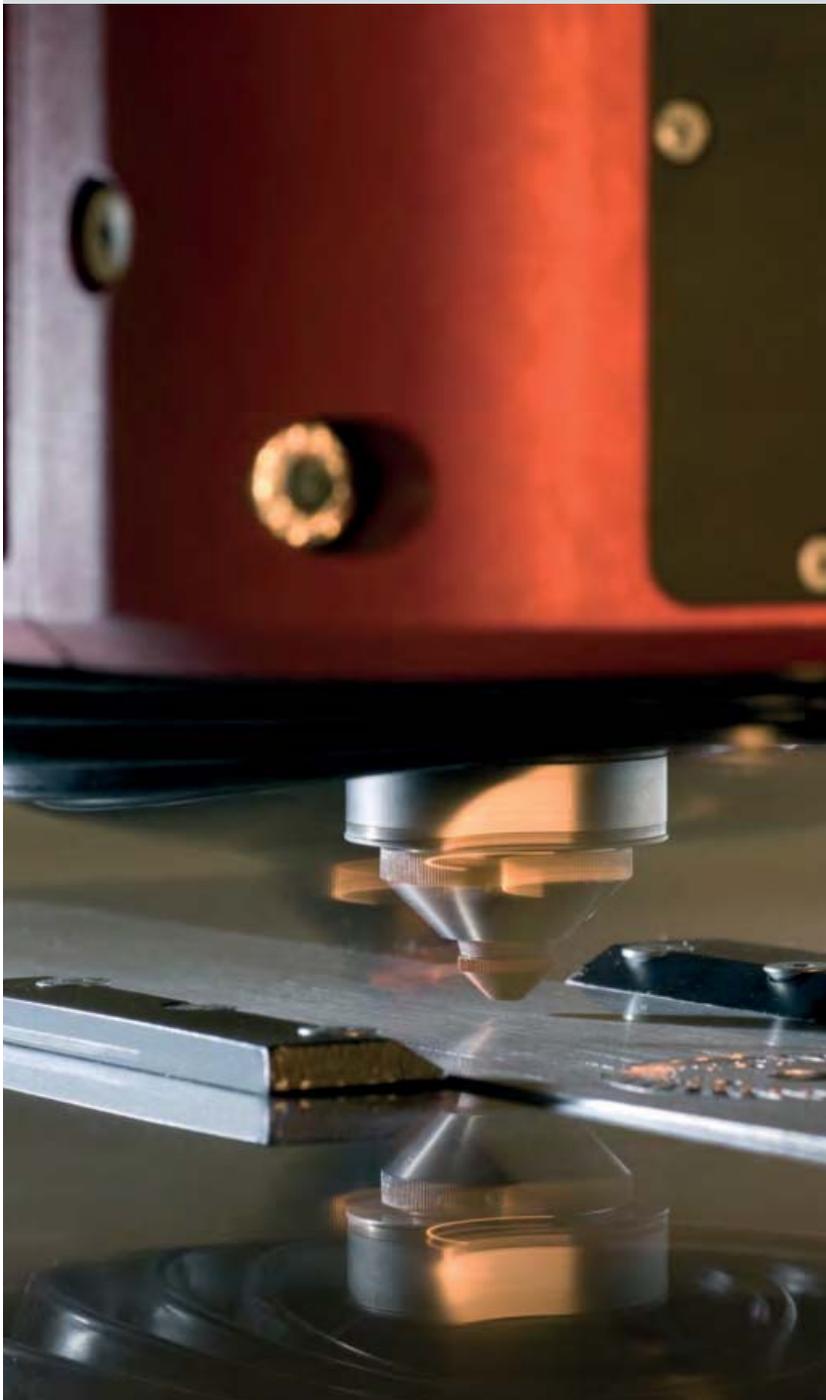
Dr. Roth-Fagaraseanu: Das Engagement der Dresdner Kollegen war unglaublich hoch. Wie sich das Team mit der Aufgabenstellung und dem Prozess identifiziert hat, hat uns sehr beeindruckt. Der Wille, die gemeinsam gefundene Lösung tatsächlich in die Fertigung zu bringen, war immer zu spüren. Das gab uns auch das Vertrauen, dass wir unser anspruchsvolles Ziel mit dem IWS als Partner erreichen werden.

Prof. Brückner: In der Zusammenarbeit mit Rolls Royce haben wir fachlich und administrativ viel gelernt. Die Überführung einer Technologie im Luftfahrtbereich mit allen dabei notwendigen Zertifizierungen war für uns eine spannende Erfahrung. Die Zusammenarbeit war immer partnerschaftlich und inspirierend.

Redaktion: Gibt es auch für die Zukunft weitere gemeinsame Forschungsthemen?

Dr. Roth-Fagaraseanu: Für den Bereich der Laserprozesse ist das IWS auch zukünftig unser Forschungspartner. Die Kombination von Werkstoff- und Prozess-Know-how mit der Simulation und der Entwicklung von industrietauglicher Systemtechnik und Software zur Prozesskontrolle und Qualitätssicherung sind überzeugende Argumente für die weitere Zusammenarbeit. Vor allem die Entwicklungen im Bereich der Additiven Fertigung verfolgen wir mit großem Interesse.

LASERABTRAGEN UND -TRENNEN



Redaktion: Herr Dr. Wetzig, zu Ihrem Geschäftsfeld gehört seit 2015 die Gruppe Prozessauslegung und -analyse. Wie hat sich die Gruppe in das Geschäftsfeld eingefügt und wie erfolgt die Verzahnung mit den Forschungsschwerpunkten Ihres Geschäftsfeldes und denen des Institutes?

Dr. Wetzig: Die Gruppe Prozessauslegung und -analyse arbeitet nach wie vor geschäftsfeldübergreifend und widmet sich der Modellierung und Simulation von sämtlichen Prozessen der Lasermaterialbearbeitung. Etwa die Hälfte der Aktivitäten ist auf das Laserschneiden ausgerichtet. Aber auch Forschungsprojekte anderer Geschäftsfelder beispielsweise zum lasergestützten Plasmaschweißen oder zur Prozessmodellierung des Um- und Einschmelzens von Randschichten auf Bandmaterial unterstützt die Gruppe mit ihrer Kompetenz.

Redaktion: Welche Ansätze werden derzeit im Hinblick auf die Modellierung des klassischen Laserschneidens verfolgt?

Dr. Wetzig: Bei den Industrieprojekten geht es in der Regel um den unmittelbaren Kundennutzen, beispielsweise die Optimierung der Innenkontur von Schneidgasdüsen mit Hilfe einer Strömungssimulation. Die öffentlichen, z. B. von der DFG geförderten Projekte, sind dagegen deutlich stärker grundlagenorientiert. So wurde gerade ein DFG-Projekt bewilligt, welches die Evaluierung dynamischer Lösungsansätze zur Optimierung des Inertgasschneidens von Dickblech mit Lasern hoher Strahlqualität zum Forschungsgegenstand hat. Im besten Fall können wir die aus diesen Projekten gewonnenen Erkenntnisse direkt auf die praktischen Belange des Laserschneidens übertragen und Laserleistungsdichteverteilung oder die Schneidgasströmung optimieren.

Redaktion: Könnten Sie das vielleicht etwas näher erläutern?

»Es ist besser, unvollkommen anzupacken, als perfekt zu zögern.«

Thomas A. Edison



GESCHÄFTSFELDLEITER

DR. ANDREAS WETZIG

☎ +49 351 83391-3229

✉ andreas.wetzig@iws.fraunhofer.de

Dr. Wetzig: Das lässt sich gut anhand einer aktuellen Entwicklung illustrieren: Der Einsatz der dynamischen Strahlformung beim Dickblechschneiden geht zurück auf ein vor ca. zwei Jahren abgeschlossenes DFG-Projekt. Im Rahmen dieses Projekts wurden die Möglichkeiten einer statischen Strahlformung mit denen einer dynamischen Strahlformung verglichen. Letztlich hat uns dieses Projekt wertvolle Hinweise darauf gegeben, dass die dynamische Strahlformung eine vielversprechende Möglichkeit ist, die Qualität und Prozesseffizienz beim Schneiden von Dickblech zu erhöhen.

Redaktion: Seit 2016 gibt es innerhalb Ihres Geschäftsfeldes auch die Gruppe Laserschneiden von Nichtmetallen. Was war die Intention zur Gründung der neuen Gruppe?

Dr. Wetzig: Das Schneiden von Nichtmetallen mit dem Laser ist ein Thema, mit dem wir uns schon seit langem sehr erfolgreich beschäftigen. Gemeinsam mit Industriepartnern haben wir z. B. das Remote-Laserschneiden von Airbagmaterial mehrfach in die Serienfertigung überführt. Außerdem widmen wir mittlerweile einen großen Teil unserer Forschungsarbeiten dem Laserschneiden von Faserkunststoffverbänden. In der neuen Arbeitsgruppe haben wir alle diese Aktivitäten zusammengefasst und damit auch die Sichtbarkeit gegenüber unseren Kunden erhöht. Das Spektrum der Forschungsaktivitäten reicht im Augenblick vom Schneiden von Folien und Klebebändern über das Laserbearbeiten von Kompositwerkstoffen (Faserkunststoffverbände, Metall-Kunststoff-Verbände, naturstoffbasierte Verbundwerkstoffe) bis hin zum Schneiden von Isolatorwerkstoffen mit und ohne Schneidgasunterstützung. Auch das Laserbearbeiten von Glaswerkstoffen nehmen wir stärker in den Blick. Wie Sie sehen, warten viele spannende Aufgaben auf die neue Gruppe.



KOMPETENZEN UND ANSPRECHPARTNER



Dr. Jan Hauptmann, Abteilungsleiter High-Speed-Laserbearbeitung

☎ +49 351 83391-3236 / ✉ jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de

» Forschungsschwerpunkte sind verfahrens- und systemtechnische Entwicklungen für Hochgeschwindigkeitsanwendungen. Dabei bildet das Prozessverständnis die Basis für die erfolgreiche Umsetzung 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 Trennen,

Abtragen und Oberflächenbehandeln von Nichtmetallen auch das Entwerfen, Aufbauen und Qualifizieren hochdynamischer Bearbeitungssysteme. «



Dipl.-Ing. Peter Rauscher, Gruppenleiter Lasersystemtechnik

☎ +49 351 83391-3012 / ✉ peter.rauscher@iws.fraunhofer.de

» Die Kernkompetenz der Arbeitsgruppe ist die Neu- und Weiterentwicklung von Systemtechnik, die insbesondere für das Laserschneiden, -oberflächenbehandeln und -schweißen angewendet werden kann. Es werden sowohl Software- als auch Hardwarekomponenten zur schnellen Strahlablenkung und Strahlformung anwendungsspezifisch entwickelt. Bei der Verfahrensentwicklung steht die Laserstrukturierung von kornorientiertem Elektroblech für hocheffiziente Transformatoren im Mittelpunkt. «

«



Dr. Jan Hauptmann, Gruppenleiter Laserschneiden Nichtmetalle

☎ +49 351 83391-3236 / ✉ jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de

» Das Hauptaugenmerk der Gruppe ist neben dem Lasertrennen von klassischen Kunststoffen auf die Laserbearbeitung von Verbundwerkstoffen gerichtet. Es werden Remote-Schneidverfahren zum Trennen von Faserkunststoffverbunden (FKV) entwickelt, deren Besonderheit u. a. darin besteht, Laserstrahlung unterschiedlicher Wellenlängen simultan anzuwenden. Darüber hinaus beschäftigt sich die Gruppe mit dem Laserschneiden von nichtmetallischen Werkstoffen bzw. mit der Laserbearbeitung neuartiger Hybridwerkstoffe und Hochleistungstextilien. «

«



Dr. Patrick Herwig, Gruppenleiter Laserschneiden

☎ +49 351 83391-3199 / ✉ patrick.herwig@iws.fraunhofer.de



» Forschungsschwerpunkte im Bereich Laserstrahlschneiden sind, neben grundlegenden Untersuchungen zum Prozessverständnis, Verfahrensentwicklungen auf dem Gebiet des Laserschmelzschneidens und -brennschneidens. So geht es beispielweise um die Verbesserung der Schneidqualität beim Trennen mit Festkörperlasern oder um die Optimierung des Laserstrahlschneidens von Elektrolechen unter Beibehaltung der magnetischen Eigenschaften. Darüber hinaus steht die Qualifizierung neuartiger Schneidverfahren wie das Remote-Laserschneiden für die Fertigungsintegration im Mittelpunkt. Für diese Aufgaben verfügt das IWS über alle gängigen Laser unterschiedlicher Wellenlänge, Leistung und Strahlqualität in Kombination mit hochdynamischen 2D- und 3D-Schneidanlagen. «

Dr. Achim Mahrle, Gruppenleiter Prozessauslegung und -analyse

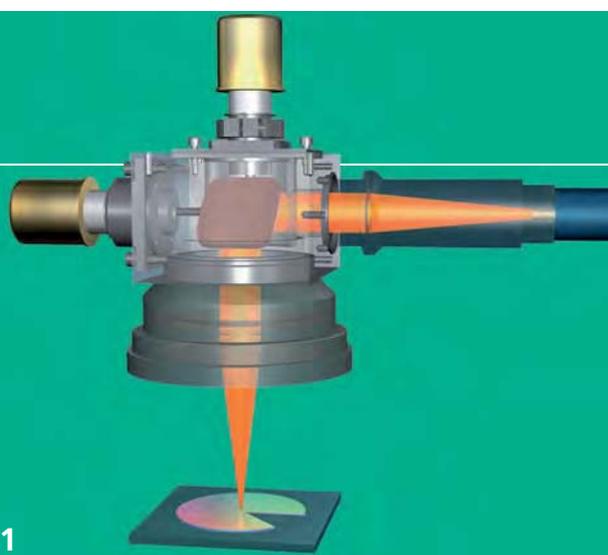
☎ +49 351 83391-3407 / ✉ achim.mahrle@iws.fraunhofer.de



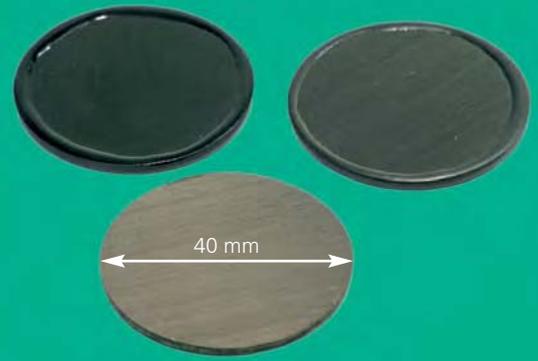
» Auf Basis thermodynamischer Erhaltungssätze und Zustandsgleichungen erfolgt eine grundlegende Bilanzierung der untersuchten Lasermaterialbearbeitungsverfahren. Im Vergleich zum realen Prozess und konkurrierenden Technologien können Rückschlüsse auf die Energieeffizienz und erzielbare Prozesswirkungsgrade gezogen werden. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Prozessanalyse unter der Zielstellung einer Beschreibung funktionaler Abhängigkeiten zwischen Regel-, Einfluss-, Stör- und Zielgrößen eines Lasermaterialbearbeitungsprozesses. Hierfür werden sowohl numerische als auch experimentelle Untersuchungsmethoden eingesetzt. «

BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2016

1. Kantenversiegelung Remote-lasergeschnittener Faserkunststoffverbunde	42
2. Hochdynamische Scannerspiegel einfacher ansteuern	44
3. CFD-Simulation zur Optimierung strömungstechnischer Komponenten	46
4. Temperaturbasierte Prozessüberwachung beim Laserstrahlschneiden	48
5. Laser Magnetic Domain Refinement – eine Erfolgsgeschichte	50



1



2

KANTENVERSIEGELUNG REMOTE-LASERGESCHNITTENER FASERKUNSTSTOFFVERBUNDE

DIE AUFGABE

Das Remote-Laserstrahlchneiden mit kontinuierlich emittierenden Strahlquellen bietet bei der Anwendung auf die Materialklasse der Faserkunststoffverbunde Vorteile gegenüber den klassischen mechanischen Trennverfahren wie Fräsen, Bohren oder Wasserstrahlchneiden. Die hohe Härte und Sprödigkeit der Glas- und Kohlenstofffasern in Verbindung mit den viskoelastischen Eigenschaften der polymeren Matrix führen hier üblicherweise zu einem hohen Werkzeugverschleiß. Die kraft- und berührungslose Arbeitsweise des Laserstrahls erlaubt hingegen Schnittkanten mit gleichbleibender Fertigungsqualität ohne Delaminationen und eine hohe Produktivität bei guter Automatisierbarkeit (Abb. 1 und 2).

Technologiebedingt tritt jedoch eine Wärmeeinflusszone auf. Durch die deutlich voneinander abweichenden Zersetzungstemperaturen der Polymere und Verstärkungsfasern zieht sich das Matrixmaterial durch die thermische Einwirkung des Lasers von der Schnittkante zurück (Abb. 3). Es verbleiben freiliegende Faserenden mit Kapillarwirkung und ein unregelmäßig beschaffener Rand der Kunststoffkomponente. Die große, von Filamenten durchbrochene Oberfläche lässt eine erhöhte Wasseraufnahme zu, was mit einer Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften einhergeht.

Unabhängig von der Schneidmethode führen insbesondere bei den kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) freiliegende Faserenden zu Korrosionsproblemen. Unter elektrochemischen Gesichtspunkten handelt es sich bei Graphit um einen edlen Werkstoff. Bei strukturellen Fügeverbindungen mit dem unedleren Leichtbauwerkstoff Aluminium sind daher entsprechende Gegenmaßnahmen erforderlich.

UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer IWS Dresden wurde geprüft, inwieweit das Remote-Laserstrahlchneiden von Faserkunststoffverbunden generell zu einer erhöhten Wasseraufnahme führt und ob das Aufbringen von Kunststoffen als Kantenversiegelung bei lasergeschnittenen endkonturbearbeiteten Strukturkomponenten aus CFK zu Eigenschaftsverbesserungen in feuchter Umgebung führt.

Dazu wurden umfangreiche Versuche an lasergeschnittenen und gefrästen CFK-Mehrschichtverbunden mit orthogonalem Aufbau durchgeführt. Die Feinwägung kreisrunder, im Wasserbad bei 60 °C ausgelagerter Probekörper über einen längeren Zeitraum ermöglicht die Quantifizierung der Feuchteaufnahme und bildet die Grundlage für den Vergleich der Behandlungsverfahren.

Darüber hinaus erfolgte eine Bewertung verschiedener thermo- und duroplastischer Kunststoffe hinsichtlich ihrer Eignung als Versiegelung. Neben der Barrierewirkung gegenüber Wassereintrag war dabei auch die Handhabung der unvernetzten ein- oder zweikomponentigen Polymere mit Hinblick auf eine automatisierte Kantennachbehandlung von Bedeutung. Als duroplastische Versiegelungssysteme wurden niedrigviskoses Epoxid- und ungesättigtes Polyesterharz untersucht. Der verarbeitete Thermoplast ist Polypropylen. Beim Grundwerkstoff handelt es sich um ein im Prepreg-Pressverfahren hergestelltes CFK mit Epoxidmatrix und hochfesten HT-Fasern.



ERGEBNISSE

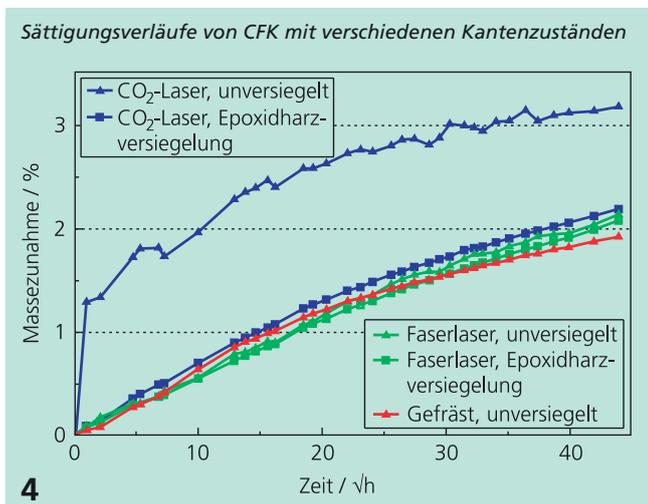
Beim Schneiden mit CO₂-Laser bilden sich in den CFK-Mehrschichtverbunden Wärmeeinflusszonen von bis zu 500 μm aus. Ursache dafür ist die vergleichsweise schlecht fokussierbare Strahlung im mittleren Infrarotbereich, die lange Wechselwirkungszeiten zwischen Laser und Material erfordert. Die langen freiliegenden Enden der Filamente stellen Kapillare mit großem Speichervermögen dar.

Das Auslagern der Proben im Wasserbad führt zu einer starken Massezunahme des Faserverbundes (Abb. 4). Ab der ersten Wägung wird das durch die Kapillaren aufgenommene freie Wasser mit eingemessen. Unter Einsatzbedingungen ist es denkbar, dass freies Wasser an den Kanten dauerhaft angelagert bleibt und für eine Diffusion in die Kunststoffmatrix zur Verfügung steht. Das Schneiden von CFK mit dem CO₂-Laser ist daher ungünstig.

Eine nachträgliche Kantenversiegelung des mit CO₂-Laser bearbeiteten CFK-Materials zeigt große Wirkung. Eine solche Nachbehandlung verhindert die sprunghafte Wasseraufnahme des Materials und verschiebt die Sättigungskurve in den Bereich des mechanisch bearbeiteten, unversiegelten CFK-Materials (Abb. 4).

Deutlich bessere Ergebnisse werden beim Schneiden von CFK mit dem Faserlaser erzielt. Die Wasseraufnahme ist mit jenen gefrästerten Probekörper vergleichbar. Allein die Änderung der Wellenlänge des eingesetzten Lasers führt also zu einer geringeren Wasseraufnahme des bearbeiteten Werkstoffes. Eine nachträgliche Kantenversiegelung bringt demgegenüber keine wesentliche Eigenschaftverbesserung, die Wasseraufnahme betreffend.

Im Hinblick auf die Nachbehandlung der Schnittkanten bietet Epoxidharz die besten Verarbeitungseigenschaften. Es haftet zuverlässig am CFK-Grundwerkstoff an. Zudem gibt es schnellhärtende und mit ultraviolettem Licht oder einer anderen Energiequelle aktivierbare Systeme, die sich gut für einen automatisierten Prozess mit kurzen Taktzeiten eignen. Ein nachträgliches Aufbringen von Polypropylen ist dagegen nicht dienlich. Die aufgetragene Schmelze haftet nicht am CFK und bietet keine Barrierewirkung. Die Verwendung von Polyesterharz stellt ebenfalls keine Alternative dar, weil die mit der Aushärtung verbundene starke Schwingung zur Ablösung der Versiegelung führt.



- 1 Prinzip eines Remote-Scanners zum Schneiden von Faserkunststoffverbunden
- 2 mit Faserlaser geschnittene CFK-Proben ohne Nachbehandlung (unten) sowie mit Epoxid- (oben links) und Polyesterharz-nachbehandlung (oben rechts)
- 3 Mikroskopieaufnahme einer Remote-lasergeschnittenen CFK-Kante im Querschnitt

KONTAKT

Dipl.-Ing. Michael Rose

+49 351 83391-3539

michael.rose@iws.fraunhofer.de





HOCHDYNAMISCHE SCANNERSPIEGEL EINFACHER ANSTEUERN

DIE AUFGABE

Zur schnellen Bewegung des Laserstrahls werden hochdynamische Galvanometerscanner verwendet, welche in Abhängigkeit des optischen Aufbaus laterale Spotgeschwindigkeiten von mehreren Metern pro Minute erreichen können. Die Anwendung dieser Scan-Systeme erstreckt sich über nahezu alle Bereiche der Lasermaterialbearbeitung zur Realisierung spezifischer Bearbeitungsaufgaben mit schneller Konturbewegung. In letzter Zeit werden Galvanometerscanner zudem vermehrt zur hochfrequenten Strahloszillation verwendet, um die Schmelzbadgröße und -dynamik gezielt zu beeinflussen. Für die Umsetzung und gezielte Beeinflussung immer komplexerer technologischer Verfahren im Bereich des Remote-Laserstrahlschneidens, -Schweißens oder Auftragsschweißens ist es notwendig, die Bewegungsbahn des Scan-Systems mit der Maschinensteuerung, den Laserstrahlquellen sowie ggf. vorhandenen Sensoren und Aktoren zu verknüpfen. Zudem sind im Zuge einer effizienten Produktion, kurzer Bearbeitungszyklen und der automatischen Verkettung mehrerer Fertigungsschritte Ansätze zur ganzheitlichen Vernetzung gesucht, welche die Ansteuerung von Galvanometerscannern beinhaltet.

UNSERE LÖSUNG

Für die Integration hochdynamischer Galvanometerscanner in Maschinensteuerungen wurden am Fraunhofer IWS Dresden die sogenannten ESL2-100 Module entwickelt (Abb. 1). Hierbei wird die Echtzeitfähigkeit, Offenheit und Flexibilität vorhandener Feldbussysteme verwendet und um die Ansteuerung von Galvanometerscannern erweitert. Das ESL2-100 Modul fungiert

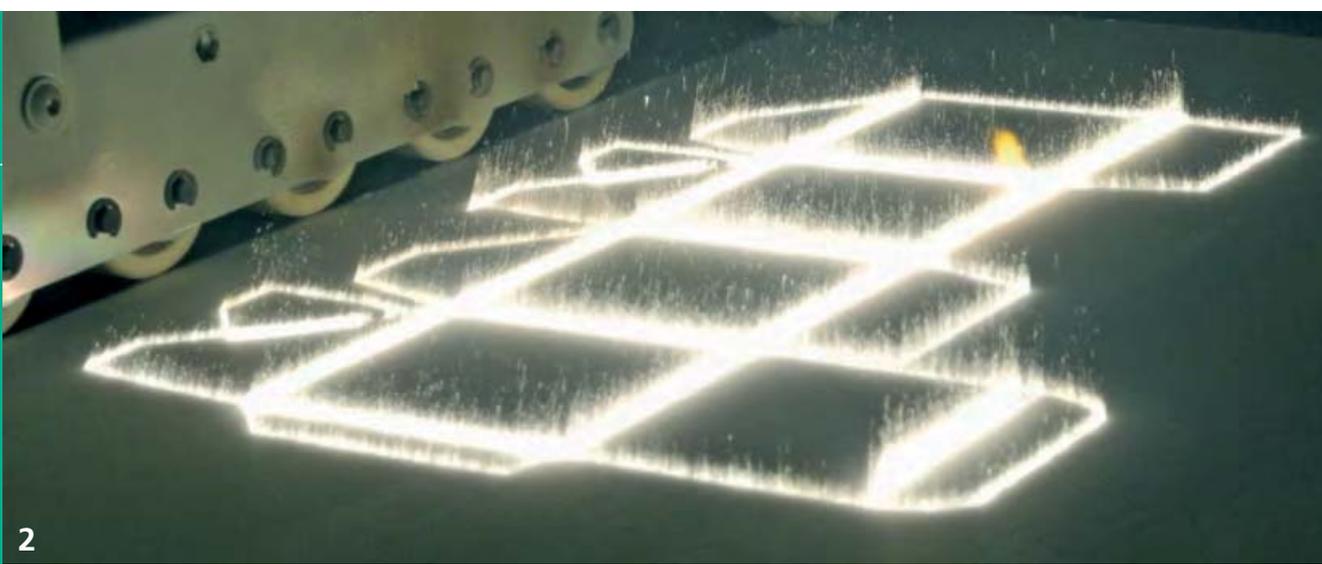
als Gateway zwischen dem Ethernet-basierten Feldbussystem EtherCAT und dem Protokoll SL2-100 zur Ansteuerung von Scannern. Dies ermöglicht eine zyklische und synchrone Kommunikation zwischen dem Scan-System und der Maschinensteuerung sowie der Prozess-Sensorik. Zudem besteht aufgrund der Flexibilität des Feldbussystems die Möglichkeit, Scan-Systeme nahezu beliebig räumlich zu verteilen. Dies ermöglicht es, Scanner an unterschiedlichen Bearbeitungspositionen innerhalb einer Produktionsanlage einzusetzen und miteinander zu synchronisieren.

Module zur digitalen Ansteuerung von Galvanometerscannern (Scannerprotokoll: SL2-100) über EtherCAT (links) oder Profinet (rechts)



1

Zusätzlich zum Ethernet-basierten Feldbussystem EtherCAT werden weitere Industrial-Ethernet-Standards wie z. B. Profinet realisiert. Zukünftig kann auch das XY2-100 Protokoll zur Ansteuerung von Scan-Systemen unterstützt werden.



2

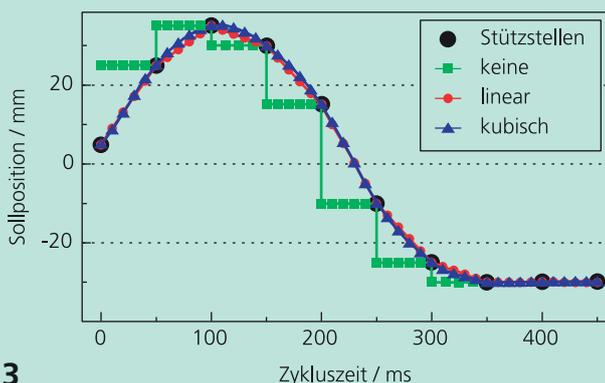
ERGEBNISSE

Scan-Systeme für die Lasermaterialbearbeitung können mit Hilfe der ESL2-100 Module in bestehende Feldbussysteme integriert werden (Abb. 4). Zur Ansteuerung werden diskrete Sollpositionswerte zyklisch an den Scanner übertragen. Die Positionswerte werden in einer SPS berechnet und können mit unterschiedlicher Prozess-Sensorik verknüpft werden. Zusätzlich wird die Dynamik des Scanners, analog zu einer NC-Achse, bei der Positionsvorgabe berücksichtigt oder in Abhängigkeit vom Bearbeitungsprozess ausgewählt.

Das ESL2-100 Modul bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Interpolationsarten auszuwählen, welche in Abhängigkeit des SPS-Zyklustaktes eine Feininterpolation (keine, linear, kubisch) ermöglichen (Abb. 3). Zur Erhöhung der zeitlichen Auflösung ist eine Oversampling-Funktion implementiert, so dass in jedem Ether-CAT-Zyklus mehrere Stützstellen übertragen werden.

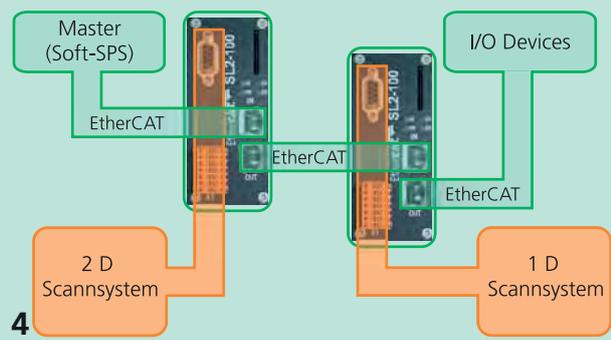
Die notwendige Bildfeldkorrektur wird im ESL2-100 Modul berechnet und kann über eine SD-Karte geladen werden. Das

4-fach Oversampling-Funktion und Feininterpolation der ESL2-100 Module, welche in Abhängigkeit der Bearbeitungsaufgabe gewählt werden können



3

Prinzipielle Struktur zur Integration mehrerer Scan-Systeme in eine Maschinensteuerung (Feldbussystem EtherCAT)



4

IWS-System wird im 24/7-Betrieb bei der Laserbehandlung von Elektroband eingesetzt. Aufgrund der hohen Bandgeschwindigkeit von bis zu 150 m min^{-1} werden bis zu 12 Einzelachsen eingesetzt. Die Ansteuerung aller Scanner erfolgt in Abhängigkeit vom Bandvorschub. Hierfür synchronisiert die Maschinensteuerung den Bearbeitungsprozess inklusive der Scannerbewegung zur Bandgeschwindigkeit. Weitere Anwendungsgebiete sind Technologien, bei denen die Scannerbewegung echtzeitfähig beeinflusst werden muss, wie z. B. bei der hochfrequenten Strahloszillation.

2 *Hochdynamisches Remote-Laserstrahlschneiden von Faserkunststoffverbunden und Karton*

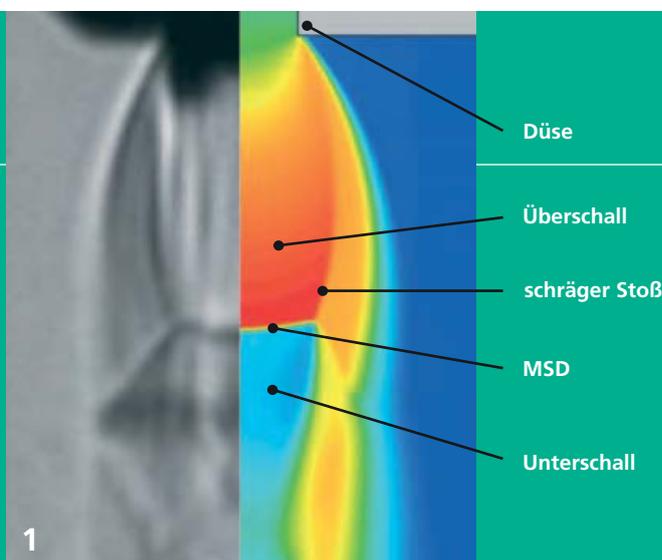
KONTAKT

Dipl.-Ing. Peter Rauscher

+49 351 83391-3012

peter.rauscher@iws.fraunhofer.de





CFD-SIMULATION ZUR OPTIMIERUNG STRÖMUNGSTECHNISCHER KOMPONENTEN

DIE AUFGABE

Gase werden in vielfältiger Weise in der Lasermaterialbearbeitung eingesetzt. Als Primärgase werden sie beispielsweise verwendet, um den Materialaustrieb bei thermischen Trennverfahren wie dem Laserstrahlschneiden zu bewirken. Bei Fügeprozessen dienen sie als Schutzgase zur Abschirmung der Prozesszone vor der Atmosphäre und beim Auftragschweißen als Trägermedium für pulverförmig zugeführte Werkstoffe. Vielfältig ist auch ein Einsatz als Sekundärgas für verschiedenste Bearbeitungsverfahren, beispielsweise:

- zum Schutz optischer Komponenten,
- zur Begrenzung störender Einflüsse von Prozessemissionen in Form von Dämpfen und Rauchen, die infolge von Wechselwirkungen mit der einfallenden Laserstrahlung die Prozessstabilität und Bearbeitungsqualität beeinträchtigen können,
- zur Reinhaltung der Raumluft in entsprechenden Bearbeitungskabinen, um Anforderungen bezüglich des Arbeitsschutzes zu erfüllen.

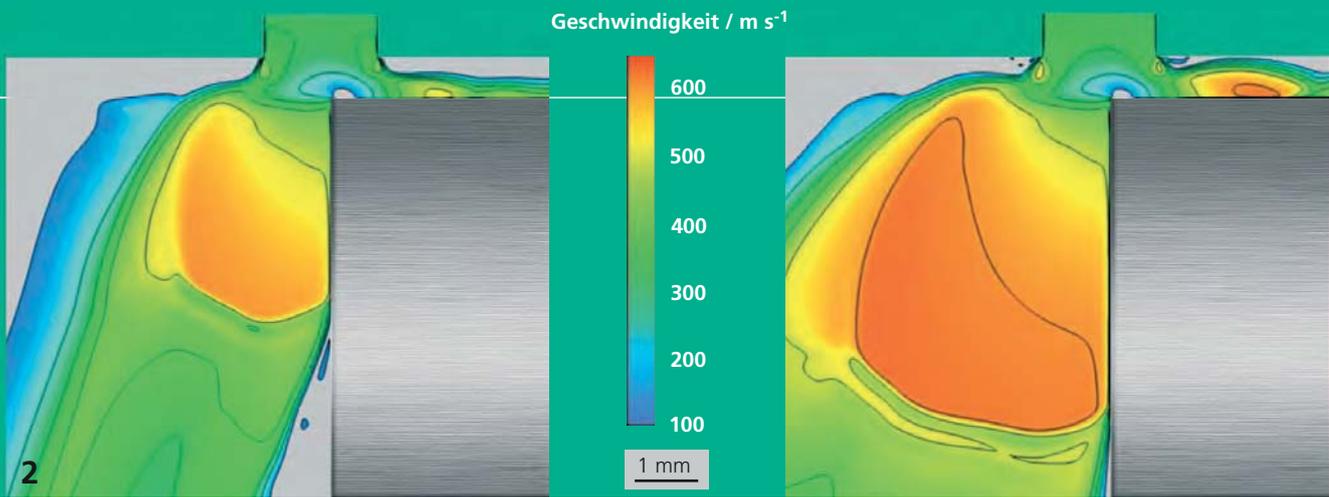
In Bezug auf die Dimensionierung, vorteilhafte Gestaltung und Anordnung der zum Einsatz kommenden strömungstechnischen Komponenten resultiert häufig eine Vielzahl praktisch relevanter Fragestellungen, um eine optimale Wirkung unter gleichzeitiger Beachtung ökonomischer Aspekte des Gaseinsatzes und –verbrauchs gewährleisten zu können.

UNSERE LÖSUNG

Für die Bearbeitung von Aufgabenstellungen, die auf einen effizienteren Einsatz von Primär- und Sekundärgasen für die Lasermaterialbearbeitung ausgerichtet sind, ist eine Charakterisierung des räumlichen und manchmal auch zeitlichen Strömungsverhaltens der Gase unabdingbar. Hierfür werden am IWS im Auftrag unserer Kunden sowie im Rahmen von öffentlich geförderten Projekten angepasste CFD-Modelle entwickelt, die eine Simulation solcher Gasströmungen unter zumeist sehr realitätsnahen Randbedingungen ermöglichen. Hierbei wird in der Regel eine hohe Vorhersagegenauigkeit sowie eine gute Übereinstimmung mit experimentellen Vergleichsergebnissen erreicht (Abb. 1). Im Gegensatz zu experimentellen Versuchsmethoden kann die Gasströmung auch in visuell nicht zugänglichen Bereichen erfasst werden.

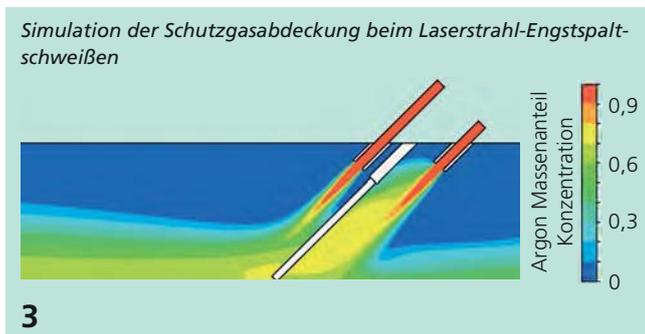
Durch Parametrisierung dieser Modelle sind häufig fundierte Parameterstudien und Sensitivitätsanalysen durchführbar, die in Verbindung mit Methoden der statistischen Versuchsplanung und –auswertung eine Identifizierung der maßgeblichen Einflussfaktoren sowie relevanter Wechselwirkungen gestatten.

Im Ergebnis dieser Untersuchungen können unmittelbar konkrete Empfehlungen abgeleitet werden, die auf konstruktive Designverbesserungen einzelner Komponenten einerseits oder zur Identifizierung optimaler Parametereinstellungen unter gegebenen Einsatzbedingungen andererseits ausgerichtet sind.



ERGEBNISSE

Entsprechend vielfältig wie die Einsatzgebiete sind auch die Modelle, die im Bereich der Gasströmungssimulation am IWS entwickelt wurden und werden. Aktuelle Aufgabenstellungen sind insbesondere auf Anwenderfragen zum Laserstrahlschweißen und –schneiden fokussiert. Beispielhaft zeigt Abbildung 3 zunächst eine berechnete Schutzgasverteilung (Argon) beim Laserstrahl-Mehrlagen-Engstspaltschweißen mit Zusatzdraht. Anhand der Simulationsergebnisse kann eine Bewertung unterschiedlicher Schutzgaszufuhrkonzepte vorgenommen werden.



Globale Raumluftrömungen werden für den Anwendungsfall des Remote-Laserstrahlschweißens simuliert. Abbildung 4 zeigt das berechnete Geschwindigkeitsfeld innerhalb einer Modellbearbeitungskammer mit lokalen und globalen Zu- und Abluftkomponenten.



Das Projekt ist darauf ausgerichtet, Konzepte einer optimierten Luftströmungsführung zu evaluieren, die einerseits störende Schweißbrauche aus dem Strahlengang des Laserstrahls eliminieren und andererseits die entstehenden Prozessemissionen gezielt in die vorhandenen Absaugvorrichtungen leiten, um eine Kontamination der Bauteile sowie der Bearbeitungsoptiken zu minimieren. Als eine besondere Herausforderung wurde die Strömungscharakteristik einzelner Komponenten erkannt. In der Regel muss diese durch Teilmodelle separat untersucht werden.

Im Bereich des Laserstrahlschneidens stehen insbesondere die Untersuchung von Düsenkonzepten, aber auch die Strömungscharakteristik von ganzen Bearbeitungsköpfen im Interesse der Anwender. Für das Laserstrahlschmelzschnitten wird hierbei als Zielgröße einer angestrebten Optimierung beispielsweise die Effizienz der Schneidgaseinkopplung in den Schnittspalt bewertet, sowie die Charakteristik der Schneidgasströmung im Schnittspalt untersucht (siehe Abb. 2).

- 1 Vergleich von experimentellen und numerischen Ergebnissen bezüglich eines Freistrahls aus einer Gasdüse. Links: experimentelle Dichteverteilung (Schlierenanalyse). Rechts: Berechnetes Strömungsfeld.
- 2 Simulation der Abhängigkeit der Schneidgasströmung vom Schneidgasdruck beim Laserstrahlschmelzschnitten (links: 5 bar, rechts: 10 bar).

KONTAKT

Dr. Achim Mahrle

+49 351 83391-3407

achim.mahrle@iws.fraunhofer.de





TEMPERATURBASIERTE PROZESSÜBER- WACHUNG BEIM LASERSTRAHLSCHNEIDEN

DIE AUFGABE

Sensorik zur Prozessüberwachung und Regelung beim Laserstrahlschneiden rückt immer stärker in den Fokus der Endanwender. Die gewünschte Funktionalität reicht von einfachen Systemen zur Qualitätssicherung bis zu intelligenten Lösungen, die eine online Optimierung von Schneidparametern ermöglichen. Derzeit am Markt verfügbare Sensoriken beschränken sich aber meist auf die Regelung einzelner Schneidparameter oder die Überwachung einzelner Ereignisse. Eine generelle Aussage zum Prozesszustand bzw. der aktuellen Schneidqualität lässt sich damit nicht oder nur in geringem Maße treffen. Zudem erfordern diese Systeme immer eine Kalibrierung auf die gewünschte Schneidqualität bzw. den gewünschten Parameter.

Für den Aufbau sinnvoller Automatisierungslösungen ist ein System notwendig, das zuverlässig die unterschiedlichsten Schneidprozesse und Prozesszustände unterscheiden kann. Dabei sollten sowohl Ausschussteile als auch kontinuierlich nachlassende Schneidqualitäten detektiert werden.

Es wird also nach einem Sensorsystem gesucht, das eine Korrelation zwischen charakteristischen Messwerten während des Schneidprozesses und dem Schneidergebnis ermöglicht. Damit sollten neben der reinen »digitalen« Unterscheidung (gut / schlecht) weitere Abstufungen detektiert werden können, die ein klareres Bild zum Prozesszustand liefern. Optimalerweise ist das Analysesystem darüber hinaus in der Lage, in den Schneidprozess einzugreifen und mittels geeigneter Stellgrößen die gewünschte Schneidqualität einzustellen.

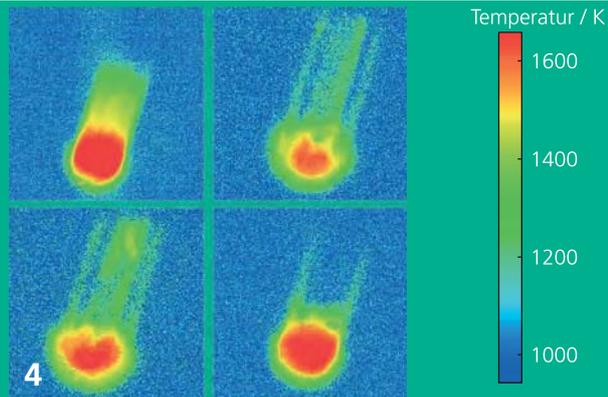
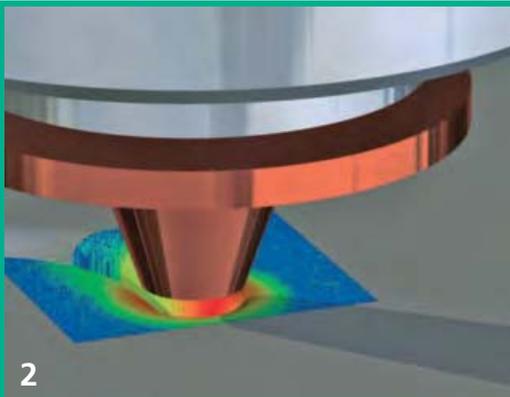
UNSERE LÖSUNG

Grundsätzlich handelt es sich beim Laserstrahlschneiden um einen thermischen Prozess, der mit entsprechenden Emissionen im elektromagnetischen Spektrum einhergeht. Dass diese Emissionen sowohl quantitativ (Strahldichte) als auch qualitativ (spektrale Verteilung) mit dem aktuellen Prozesszustand korrelieren, konnte mit unterschiedlichen optischen Messverfahren nachgewiesen werden.

Was für andere thermische Verfahren (wie z. B. Laserstrahlhärten) Stand der Technik ist, ist daher auch auf das Laserstrahlschneiden übertragbar. Der Schneidprozess lässt sich mit Hilfe der thermisch induzierten Emissionen charakterisieren.

Umgesetzt wurde diese Charakterisierung am IWS Dresden mit dem kamerabasierten Temperaturerfassungssystem »E-MAqS« und dem Regelsystem »LomproPro«. Das ursprünglich für die leistungsgeregelte Temperaturführung beim Laserstrahlhärten entwickelte Mess- und Regelsystem wird bereits erfolgreich für Technologien wie Laserauftragsschweißen, Laserlöten, Induktionshärten und andere spezielle Wärmebehandlungsverfahren eingesetzt.

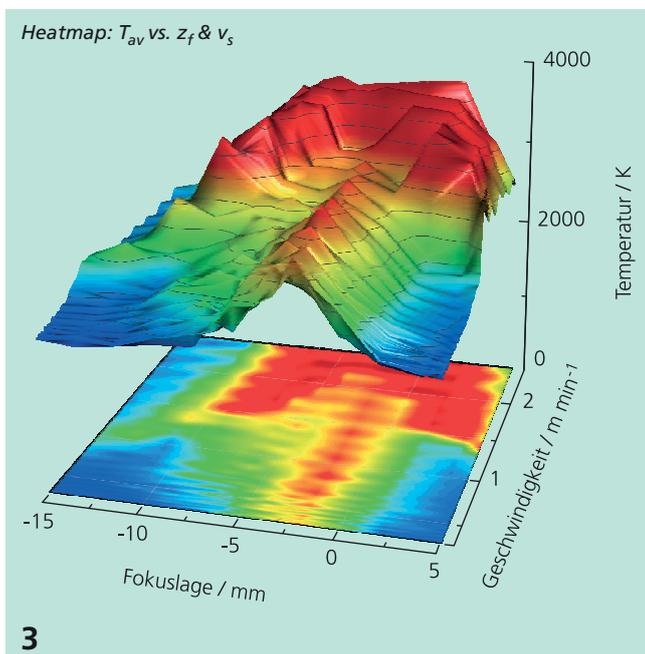
Das System ist für anspruchsvolle, industrielle Messaufgaben konzipiert und liefert bei einer Messrate von bis zu 200 Hz Temperaturinformationen zu Oberflächen mit einer unteren Messschwelle von 600 °C.



ERGEBNISSE

Für die Untersuchungen wurde kommerziell verfügbare Hardware mit einem E-MAqS-System des Fraunhofer IWS kombiniert. Als Strahlquelle fungierte ein 5 kW Festkörperlaser. Es kamen Standard-Schneidoptiken zur Anwendung, die lediglich zur koaxialen Einbindung des E-MAqS-Systems in den Strahlengang modifiziert sind. Zur Beurteilung der Prozesscharakteristik wurden die Signalverläufe mit den erzielten Schneidergebnissen korreliert. Die in Abbildung 3 und 4 dargestellten Ergebnisse spiegeln untersuchte Schmelzschneidprozesse an CrNi – Stählen wider.

Zur Auswertung und Charakterisierung des Schneidprozesses stehen unterschiedliche Parameter zur Verfügung. Aufgrund der orts- und zeitaufgelösten Messung können neben der Schmelzbadtemperatur an diskreten Positionen auch die Schmelzbadgröße oder räumliche und zeitliche Temperaturgradienten betrachtet werden. Eine Auswertung der Gradientenverläufe vereinfacht die Messmethodik, da keine genaue Kenntnis über den Emissionsgrad der Schmelze erforderlich ist.



Die Ausprägung des Schmelzbades ist von vielen, unterschiedlich dominanten Faktoren abhängig. Neben Randbedingungen wie Blechdicke und verwendeter Laserleistung hat auch die resultierende Schnittspaltgeometrie einen großen Einfluss.

In Abbildung 4 ist beispielhaft ein solcher mehrdimensionaler Zusammenhang zwischen der Maximaltemperatur und den beiden Schneidparametern Geschwindigkeit und Fokusslage dargestellt ($T_{\max} = f(v_s, z_f)$).

Aktuelle Arbeiten zielen daher in erster Linie auf die Konzipierung zweckmäßiger Auswertestrategien. Diese können sowohl zeit- als auch ortsbasiert sein. Dennoch lassen sich bereits diverse Effekte im Schneidprozess detektieren. So wird z. B. ein drohender Prozessabris über eine deutliche Steigerung der Schmelzbadtemperatur avisiert. Weitere Ziele sind die Online-Charakterisierung der resultierenden Kantenrauheit und der Gratanhäufungen sowie die Validierung des Messsystems für weitere Schneidverfahren.

Das »E-MAqS« Temperaturmesssystem ist prädestiniert zur Überwachung von Brennschneidprozessen, da hier im Besonderen die ortsbasierte Signalauswertung zur Erkennung von Instabilitäten im Schneidprozess beiträgt. Unter bestimmten Bedingungen kann es z. B. zu sogenannten »self-burning«, bzw. »side-burning« Effekten kommen, die mittels »E-MAqS« erkannt und mit Hilfe der komplementären Regelung »Lom-pocPro« kompensiert werden können.

- 1 Schneidkopf mit E-MAqS
- 2 Skizze zur Messposition
- 4 Momentaufnahmen

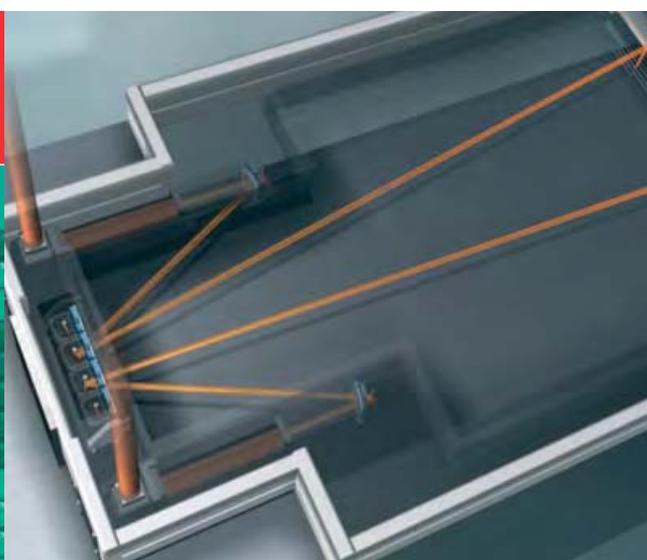
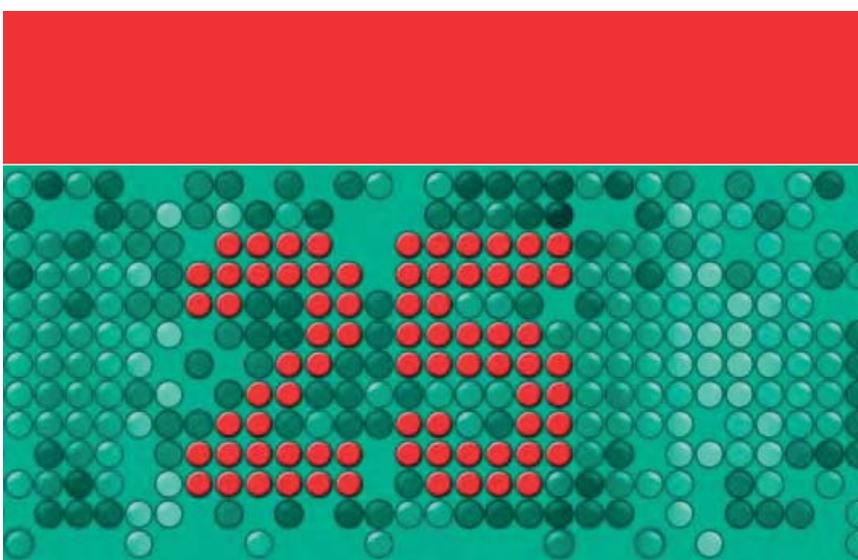
KONTAKT

Dipl.-Ing. Thomas Pinder

+49 351 83391-3202

thomas.pinder@iws.fraunhofer.de





LASER MAGNETIC DOMAIN REFINEMENT – EINE ERFOLGSGESCHICHTE



ERIC MÜLLER
Key Account Manager LDRS
Rofin Sinar Laser GmbH



DR. JAN HAUPTMANN
Abteilungsleiter High-Speed-Laserbearbeitung
Fraunhofer IWS Dresden

Redaktion: Herr Müller, seit vielen Jahren arbeitet Ihr Unternehmen mit dem Institut zusammen. Wann und wie kam es zu der Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Laser Magnetic Domain Refinement (LMDR)?

Herr Müller: Die enge und umfassende Zusammenarbeit zwischen ROFIN und dem IWS auf verschiedenen Ebenen (Schneiden, Schweißen, Oberflächenbehandeln) besteht bereits seit Anfang der 90er Jahre. Von Beginn an wurden Industrieprojekte u. a. für die Automobilindustrie (Getriebeteile, Gangräder, Airbags etc.), die Luftfahrtindustrie und andere Branchen umgesetzt und erfolgreich in der Fertigung bei unseren Kunden etabliert. Mit Beginn des neuen Jahrtausends erhielten wir erste konkrete Projektanfragen zum Thema »Domain Refinement von kornorientiertem Elektroblech« aus Asien. Aufgrund der Reputation und Vorarbeiten von Prof. Beyer aus den Achtziger- und Neunzigerjahren zum Thema Domänen-Verfeinerung mit dem Laser wendeten wir uns mit der Bitte um Unterstützung an das IWS.

Redaktion: Was waren dann die ersten Entwicklungsschritte bei der Lösung der Aufgabe?

Herr Müller: Zunächst wurde eine Anlage im Bereich der Forschung & Entwicklung aufgebaut, um Prozessenerfahrungen mit modernster Systemtechnik zu sammeln und die Übertragung in eine Fertigungslinie zu prüfen. Viele Stahlhersteller hatten sich bereits intensiv mit dem Thema Domänen-Verfeinerung beschäftigt und Entwicklungsarbeit in eigenen Laboren und/oder Instituten betrieben. Die Grundlagenerkenntnisse waren bereits sehr weit fortgeschritten, gesucht wurden konkrete anlagentechnische Lösungen für die Produktionslinien.



Redaktion: Welche Herausforderungen waren zu meistern?

Herr Müller: Die größte Anforderung war es, den Prozess auch unter den schwierigen Bedingungen der Stahlindustrie sicher zu beherrschen. Die rauen Umgebungsbedingungen, die Prozessschwankungen, die hohen Anforderungen an die Produktivität und Verfügbarkeit nebst geringen Stillstandszeiten des Systems in einer Produktionslinie haben dem Lasersystem viel abverlangt. Alle Systeme konnten aufgrund der guten und professionellen Vorbereitung und Ausführung bereits nach Installations- und einer kurzen Anlernphase an die Kunden übergeben werden. Diese waren sofort in der Lage, die Anlage eigenverantwortlich zu betreiben und die Produktion hochzufahren.

Redaktion: Wo stehen wir heute?

Herr Müller: Im Verlauf der letzten 15 Jahre wurden insgesamt 10 Systeme für die Behandlung von Elektroblech erfolgreich in die Stahlindustrie verkauft und geliefert. Die Systeme arbeiten alle in Produktionsanlagen und/oder -linien, in den meisten Fällen im 3-Schicht-Betrieb. Die enge Zusammenarbeit zwischen dem IWS, der Firma ARNOLD und ROFIN hat das Konsortium mittlerweile als wohl den derzeit größten Anbieter dieser Lösung weltweit bekannt gemacht. Bereits heute, aber auch in Zukunft, erwarten wir weitere Projekte in diesem Bereich, auch durch die konsequente Weiterentwicklung des Prozesses für die erweiterte Anwendung zur Behandlung von wärmefesten Elektroblechen.

Redaktion: Was ist Ihnen an der Zusammenarbeit mit dem IWS besonders angenehm aufgefallen?

Herr Müller: Besonders hervorzuheben ist die strukturierte, professionelle und verlässliche Zusammenarbeit in den Projekten, von der Vorbereitungsphase bis hin zur Übergabe an den Kunden, aber auch bzgl. der Nachsorge, sofern erforderlich.

Zu der Entscheidung der Kunden für unser Konsortium haben u. a. die Prozess-Erfahrung des IWS und die Möglichkeit der vorbereitenden Kundenversuche beigetragen. Mit zunehmend erfolgreichen Installationen in der Industrie natürlich auch die gesammelte Erfahrung in den verschiedenen Referenzen.

Dr. Hauptmann: Für das IWS ist immer sehr angenehm, dass wir von unserem Partner ROFIN schon sehr früh in die technische Abstimmung der einzelnen Kundenprojekte einbezogen werden. Zudem läuft seit nunmehr fünf Jahren kontinuierlich ein trilaterales FuE-Projekt zwischen der Firma ARNOLD, ROFIN und dem IWS, das es uns ermöglicht, unabhängig von den einzelnen Kundenprojekten industrielle Vorlaufforschung auf dem Gebiet zu betreiben.

Redaktion: Was sind die nächsten Entwicklungsziele?

Herr Müller: Der konventionelle Prozess (Wärmeleitung) ist etabliert und eingeführt. Es werden in Abhängigkeit des globalen Bedarfes weitere Projekte erwartet. Die Anzahl der neuen Systeme wird aber begrenzt sein. Die Weiterentwicklung des Prozesses aber ermöglicht die Anwendung auch in der »wärmefesten« Behandlung von Elektroblech (»heat proof« LMDR) und der sogenannten flussangepassten LMDR. Die »heat proof« LMDR würde den Einsatz von laserbehandelten Blechen auch bei Wickelkerntransformatoren erlauben und die flussangepasste LMDR verspricht eine weitere Reduzierung der Ummagnetisierungsverluste beim Betrieb der Transformatoren. Im Hinblick auf neue Umweltgesetze und Richtlinien, aber auch dem generellen Anspruch der Energieeinsparung in Zukunft, ergeben sich in diesem Bereich sicherlich weitere Anforderungen und Einsatzmöglichkeiten.

THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK



Redaktion: Herr Prof. Leyens, für das thermische Spritzen mit Suspensionen bietet das IWS maßgeschneiderte Systemtechniklösungen an. Welche Besonderheiten weisen diese auf?

Prof. Leyens: Beim thermischen Spritzen mit Suspensionen kommt es auf eine gleichmäßige, kontrollierbare Zufuhr der Spritzwerkstoffe an. Deshalb haben wir einen Suspensionsförderer entwickelt, der mit drei Behältern ausgestattet ist und eine präzise Zufuhr der meist keramischen Suspensionen ermöglicht. Während einer der Behälter eine Flüssigkeit zur Reinigung der Injektionsdüsen enthält, können die beiden anderen mit gleichen oder unterschiedlichen Suspensionen befüllt sein. Somit lassen sich einerseits hochproduktive Beschichtungsprozesse ohne Unterbrechung der Medienzufuhr umsetzen, andererseits werden neue Schichtsysteme und Schichtarchitekturen durch Mischen oder gradierten Auftrag zweier verschiedener Suspensionen möglich. Zusammen mit unseren Einspritzsystemen bieten wir unseren Kunden entweder die Umrüstung bestehender Spritzanlagen oder die Entwicklung neuer Systeme zum Spritzen mit Suspensionen an.

Redaktion: Das IWS ist führend beim Laserstrahlhärten. Was ist das Erfolgsrezept?

Prof. Leyens: Mit dem Laser als präzise Energiequelle lassen sich lokale Wärmebehandlungen durchführen, die eine erhöhte Verschleißbeständigkeit des verwendeten Werkstoffs bewirken. Im Unterschied zu den konventionellen Härteverfahren, bei denen oftmals die gesamte Bauteiloberfläche in ihren Eigenschaften verändert wird, schafft das Laserstrahlhärten maßgeschneiderte Lösungen. Es lässt sich bei geometrisch komplexen Bauteilen genauso anwenden wie bei Werkstoffen, die zum

»Erst zweifeln, dann untersuchen, dann entdecken!«

Thomas Buckle



GESCHÄFTSFELDLEITER

PROF. CHRISTOPH LEYENS

☎ +49 351 83391-3242

✉ christoph.leyens@iws.fraunhofer.de

Aufbau großer thermischer Spannungen neigen. Bei der Erarbeitung anwendungsspezifischer Lösungen profitieren unsere Kunden vom umfangreichen Werkstoff-Know-how des IWS und seiner weltweit anerkannten Systemtechnik-kompetenz.

Redaktion: Das Laserauftragschweißen zählt zu den wichtigen Verfahren der Thermischen Oberflächentechnik. Wohin gehen hier zukünftige Entwicklungen?

Prof. Leyens: Egal, ob der Zusatzwerkstoff in Form von Pulver oder Draht zur Verfügung steht, beim Laser-Auftragschweißen erreichen wir höchste Schichtqualitäten mit perfekter metallurgischer Anbindung zum Bauteil. Diese Vorteile nutzen wir zur Herstellung von Schichten für große Bauteile, die zum Beispiel vor Verschleiß oder Korrosion geschützt werden müssen.

Während die Qualitätsvorteile auf der Hand liegen, spielt für die Wirtschaftlichkeit die Produktivität des Verfahrens eine große Rolle. Hier bieten wir kundenspezifische Lösungen durch die Entwicklung von innovativer Systemtechnik an. So können wir aktuell mit Laserleistungen von bis zu 20 kW Einzelspuren mit 45 mm Breite ablegen – bei hervorragender Schichtdickenkonstanz über die ganze Spur. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit haben auch die drahtbasierten Laser-Auftragschweißverfahren einiges zu bieten. Die Vorteile des Drahtes liegen unter anderem in der vollständigen Ausnutzung des eingesetzten Werkstoffs. Unsere COAXwire-Technologie hat inzwischen erhebliche Verbreitung in der industriellen Praxis gefunden und fast täglich kommen neue Interessenten hinzu.



KOMPETENZEN UND ANSPRECHPARTNER



Dr. Steffen Bonß, Abteilungsleiter Wärmebehandeln und Plattieren

☎ +49 351 83391-3201 / ✉ steffen.bonss@iws.fraunhofer.de

» Für Bauteilgeometrien, Verschleißfälle und Werkstoffe, bei denen konventionelle Härtetechnologien versagen, bieten Laserrandschichttechnologien wie z. B. das Laserstrahlhärten und Laserstrahlumschmelzen 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. «



Dipl.-Ing. Jan Hannweber, Gruppenleiter Wärmebehandlungssysteme

☎ +49 351 83391-3360 / ✉ jan.hannweber@iws.fraunhofer.de

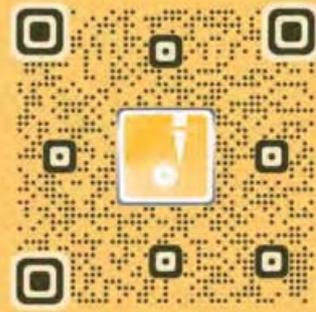
» Eine erfolgreiche Überführung innovativer Technologien in eine industrielle Anwendung wird wesentlich von der technologischen Reife verwendeter Einzelkomponenten bestimmt. Die Kernkompetenz der Arbeitsgruppe ist die Neu- und Weiterentwicklung von Systemtechnik für die Lasermaterialbearbeitung, insbesondere für das Laserstrahlhärten. Bei der Konzipierung und Entwicklung von einzelnen Geräten, bis hin zu komplexen Maschinen und Anlagen, werden bei der Bearbeitung der Projekte konsequent geltende Europäische Richtlinien beachtet. Das Leitprojekt »Industrie 4.0« ist ein wichtiger Richtungsgeber. «



Dipl.-Phys. Marko Seifert, Gruppenleiter Mechanisch-Thermische Verfahren

☎ +49 351 83391-3204 / ✉ marko.seifert@iws.fraunhofer.de

» Kernkompetenz der Arbeitsgruppe ist die Verfahrensentwicklung und Erarbeitung kundenspezifischer Bearbeitungskonzepte im Bereich der laserunterstützten mechanisch-thermischen Materialbearbeitung. Hauptarbeitsgebiete sind das Laserhärten von Stahlwerkstoffen sowie das Laserinduktionswalzplattieren zum Fügen komplexer Metall-Mischverbindungen. Weiterhin werden spezielle technische Lösungen zum Löten, Umschmelzen und Gaslegieren angeboten. Als Werkzeuge stehen Hochleistungslaser bis 9 kW zur Verfügung. Ein Schwerpunkt bei allen Entwicklungen ist die Realisierung einer präzisen Temperaturregelung als Basis für reproduzierbare industrielle Prozesse. «



Dr. Filofteia-Laura Toma, Gruppenleiterin Thermisches Spritzen
☎ +49 351 83391-3191 / ✉ filofteia-laura.toma@iws.fraunhofer.de



» Zum thermischen Beschichten von Bauteilen aus Stahl, Leichtmetallen oder anderen Werkstoffen mit Metallen, Hartmetallen und Keramik stehen in der Arbeitsgruppe das atmosphärische Plasmaspritzen (APS) sowie das Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF und HVOF) mit Pulvern und Suspensionen zur Verfügung. Zu den Kernkompetenzen zählt die Entwicklung von beanspruchungsgerechten Beschichtungslösungen, die Entwicklung und Fertigung von systemtechnischen Komponenten und deren Integration in angepasste Anlagenkonzepte. Die Technologieeinführung beim Anwender stellt einen wichtigen Aspekt des Know-how-Transfers dar. «

Prof. Steffen Nowotny, Abteilungsleiter Auftragschweißen
☎ +49 351 83391-3241 / ✉ steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de



» Das Kompetenzfeld umfasst die Anwendung des Laser-Auftragschweißens mit Draht und Pulver für das Beschichten sowie Funktionalisieren von Oberflächen. Einen wichtigen Schwerpunkt bildet die anwenderspezifische Entwicklung von Bearbeitungsköpfen, Bauteiltechnologien und CAM-Software. Für die produktionstechnische Nutzung stehen dem Anwender sowohl langjährige Expertise auf den Gebieten der Prozessentwicklung, der Systemtechnik und der Vor-Ort-Betreuung als auch umfangreiche Beratungs-, Fortbildungs- und Trainingsangebote zur Verfügung. «

BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2016

1. Cr ₂ O ₃ -Hochleistungsschichten durch thermisches Spritzen mit Suspensionen	56
2. Koaxiales Laser-Draht-Auftragschweißen mit erweitertem Werkstoffspektrum	58
3. Automatisiertes Messsystem zur Untersuchung der Pulverströmung	60
4. Neues Kalibriersystem für Temperaturmesssystem »E-MAqS«	62
5. Drahtförmige laserwalzplattierte Bimetalle	64
6. Softwarelösungen für durchgängige Laserprozessketten	66



CR₂O₃-HOCHLEISTUNGSSCHICHTEN DURCH THERMISCHES SPRITZEN MIT SUSPENSIONEN

DIE AUFGABE

Chrom(III)-oxid (Cr₂O₃) ist ein weit verbreitetes Beschichtungsmaterial für Anwendungen insbesondere in der Druck- und Papierindustrie, der Pumpen- und Textilindustrie sowie für mechanische Dichtungssysteme. Cr₂O₃-Beschichtungen zeichnen sich durch eine hohe Härte, eine hohe Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit, gute Reib- und Gleiteigenschaften sowie eine gute Strukturierbarkeit durch Laser aus.

Cr₂O₃-Schichten werden hauptsächlich durch atmosphärisches Plasmaspritzen (APS) hergestellt. Der Auftragswirkungsgrad liegt bei etwa 30 bis 40 Prozent. Die APS-Schichten sind durch ein poröses Gefüge gekennzeichnet, was für einige Anwendungen nachteilig ist. Dichtere Schichten können mittels Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) erzeugt werden. Aufgrund des niedrigen Auftragswirkungsgrades (< 10 Prozent) ist dieser Spritzprozess bei den industriellen Lohnbeschichtern jedoch wenig verbreitet. Das Fraunhofer IWS arbeitet deshalb an der Entwicklung von dichten Cr₂O₃-Schichten mit hohem Auftragswirkungsgrad.

UNSERE LÖSUNG

Die wissenschaftlich-technische Lösung besteht in der Verwendung von thermischen Spritzverfahren mit Suspensionen. An Stelle von Beschichtungspulvern mit Partikelgrößen von 5 bis 50 µm kommen beim Spritzen mit Suspensionen Submikro- oder Nanopulver zum Einsatz (Abb.1), die in einer Flüssigkeit feindispersiert werden. Die Verwendung von stabilen, niedrigviskosen wässrigen Suspensionen ist für die Langzeitstabilität und die Wirtschaftlichkeit der Prozesse entscheidend.

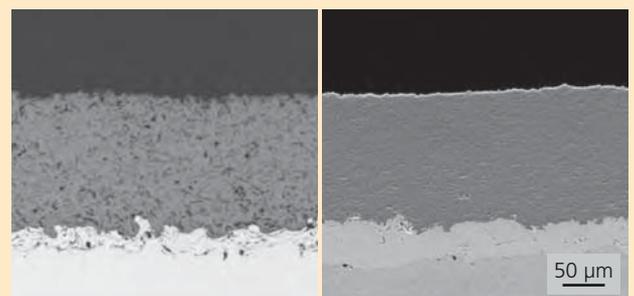
Deshalb wurden in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IKTS konzentrierte wässrige Cr₂O₃-Suspensionen mit einem Feststoffanteil von bis zu 40 Masseprozent entwickelt und erprobt.

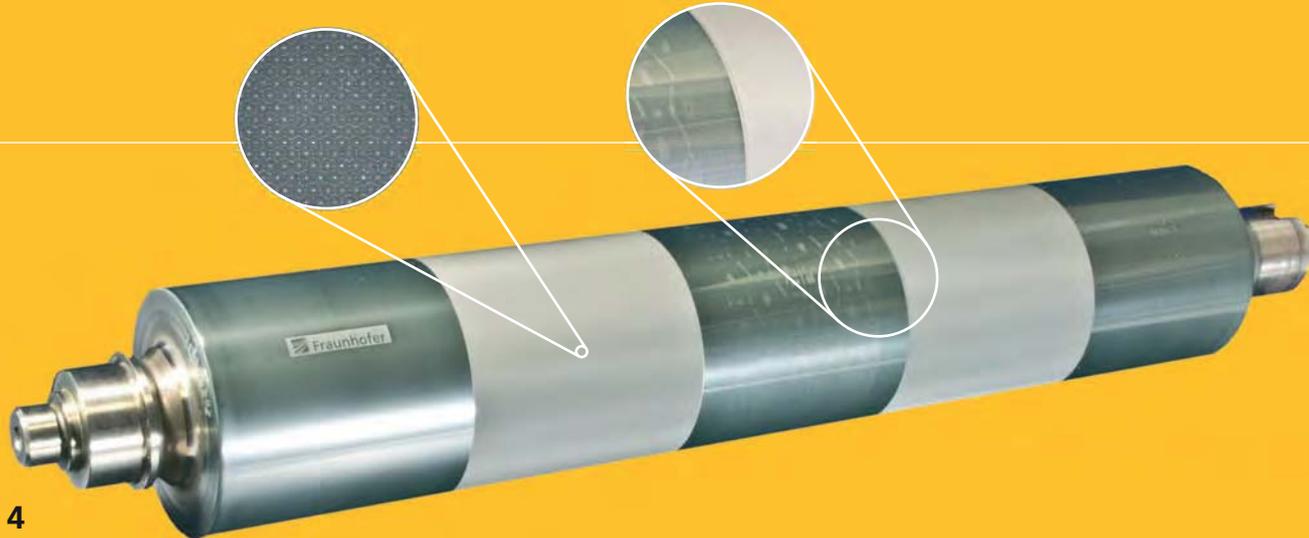
Die für das Spritzen von Suspensionen spezifischen Hardwarekomponenten wurden im IWS entwickelt und an herkömmliche APS- und HVOF-Spritzanlagen angepasst. Die Versuche zum Suspensions-HVOF (SHVOF) wurden mit einem TopGun-Brenner unter Verwendung von Ethen als Brennstoff vorgenommen. Die Suspension wird über einen Suspensionsdruckförderer transportiert (Abb. 2) und axial in die modifizierte Brennkammer injiziert. Suspensionsförderrate und -druck werden während des Spritzprozesses kontinuierlich geregelt und überwacht.

ERGEBNISSE

Im Vergleich zu den herkömmlichen APS-Schichten sind die SHVOF-Schichten durch eine dichtere Mikrostruktur gekennzeichnet (Abb. 3). Das typische rissanfällige Gefüge konventioneller Schichten konnte bei SHVOF-Schichten nicht beobachtet werden.

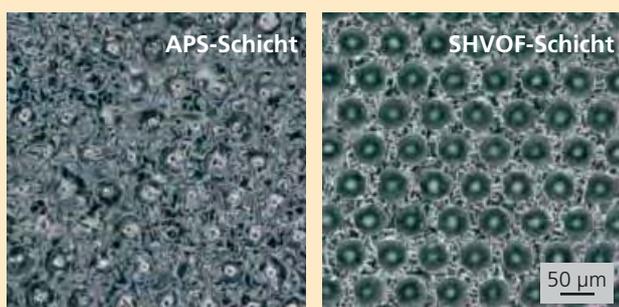
Querschliff-Aufnahmen einer APS-Cr₂O₃-Schicht (links) und einer suspensionsgespritzten SHVOF-Cr₂O₃-Schicht (rechts)





Für die Suspensionsschichten wurden Härte­werte von 1200 bis 1500 HV 0,3 gemessen, die die Werte konventioneller APS-Schichten übertreffen. Durch die Verwendung feinerer Partikel verbessern sich auch die mechanischen Eigenschaften deutlich. Die E-Modul-Werte für die SHVOF-Schichten liegen über 135 GPa; die E-Modul Werte der APS-Schichten erreichen nur ca. 75 GPa. SHVOF-Schichten zeigen vergleichbare Verschleißkoeffizienten und geringere Reibwerte als die konventionell gespritzten Schichten. Dank ihrer dichteren Mikrostruktur sind die SHVOF-Schichten durch höhere Beständigkeit in korrosiven Medien gekennzeichnet. Bei der Beschichtung von Cr₂O₃-basierten Schichten mit dem SHVOF-Verfahren konnten Auftragwirkungsgrade von 30 bis 35 Prozent erreicht werden, was eine Verbesserung von mehr als 300 Prozent gegenüber Cr₂O₃-HVOF-Pulverschichten entspricht. Ein weiterer Vorteil der SHVOF-Schichten ist die glatte Oberfläche. Die Rauheitswerte (Ra) suspensionsgespritzter Schichten liegen mit 1 – 3 µm deutlich unter denen von pulverspritzten Schichten (Ra > 5 µm). Aufgrund dessen ergibt sich ein großes Potenzial für Kosten- und Zeitersparnis bei der Nachbearbeitung (Abschleifen, Polieren) der Suspensionsschichten. Abbildung 4 zeigt die Oberflächen­topografien der laserstrukturierten APS- und SHVOF-Schichten. Im Vergleich zu den konventionellen Schichten lassen sich die SHVOF-Schichten auch ohne Nachbearbeitung gut und feiner laserstrukturieren. Die feinen Gravuren bieten sich z. B. als Schmierstoffreservoir für tribologische Anwendungen an.

Topographie-Aufnahmen einer laserstrukturierten APS-Schicht (links) und einer SHVOF-Schicht (rechts). Laserstrukturierung wurde an wiegespritzten Schichten durchgeführt



SHVOF-Cr₂O₃-Beschichtung auf einer Aluminium-Welle, poliert, laserstrukturiert und lasergraviert



Aufgrund der überragenden Schichteigenschaften besteht ein großes Anwendungspotenzial für die SHVOF-Cr₂O₃-Schichten an korrosions- und verschleißbeanspruchten Bauteilen, z. B. für Druckwalzen und Wellen (siehe Abb. 4 und 6).

Die hier vorgestellten Arbeiten entstanden in Kooperation mit dem Fraunhofer IKTS im Rahmen des IGF-Vorhabens 18.154B / DVS-Nr. 02.094, gefördert durch die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS.

- 1 Morphologie feiner Cr₂O₃-Pulver für die Suspensionsherstellung
- 2 Drei-Druckbehältersuspensionsförderer
- 4 Druckwalzen-Demonstrator: SHVOF-Cr₂O₃-Beschichtung, poliert, laserstrukturiert und lasergraviert

KONTAKT

Dr. Filofteia-Laura Toma

+49 351 83391-3191

filofteia-laura.toma@iws.fraunhofer.de





KOAXIALES LASER-DRAHT-AUFTRAGSCHWEISSEN MIT ERWEITERTEM WERKSTOFFSPEKTRUM

DIE AUFGABE

Neben den klassischen draht- und pulverbasierten Spritztechnologien und Lichtbogenschweißverfahren findet im Bereich der thermischen Oberflächentechnik das Verfahren des Laser-Draht-Auftragschweißens als materialeffiziente und saubere Prozesslösung zunehmend Anwendung. Abbildung 1 zeigt die Roboteradaption die dafür am IWS erarbeitete Drahtoptik COAXwire, die sich durch eine koaxiale Aufteilung eines über ein Lichtleitkabel eingekoppelten Strahles in drei Teilstrahlen auszeichnet. Deren symmetrische Anordnung um eine zentrale Drahtzufuhr ermöglicht vielseitige Freiheitsgrade in der Prozessführung sowie ideale Möglichkeiten zur Automatisierbarkeit des Prozesses.

Insbesondere die Verarbeitung von anspruchsvollen Drahtwerkstoffen für Anwendungen im Bereich der Luft- und Raumfahrt erfordern reproduzierbare und stabile Prozessbedingungen. Um dies umzusetzen, waren neben der Laserbearbeitungsoptik selbst Peripheriesysteme wie die Laserstrahlquelle, die Prozessüberwachung, der Drahtförderer und die CAM-Software weiter zu qualifizieren.

Für reaktive Materialien wie Aluminium und Titan ist außerdem eine inerte Umgebung obligatorisch, wobei der Restsauerstoffgehalt 50 ppm nicht übersteigen soll. Üblicherweise eingesetzte Ringspalt- und Schleppdüsen zur lokalen Schmelzbadabschirmung können dies nicht gewährleisten. Die weiterführende Aufgabe bestand daher darin, ein neues Konzept zur Schutzgasabschirmung zu erarbeiten, welches eine schnelle und einfach durchführbare Adaption an die Optik, eine hohe Gasqualität und auch die Bearbeitung von Freiformflächen im 5-Achs-Modus sowie den Aufbau großer Bauteile ermöglicht.

UNSERE LÖSUNG

Das COAX-Verfahrensprinzip ist für die Verarbeitung von nahezu allen handelsüblichen gespulten Massiv- und Fülldrähten geeignet. Das Legierungsspektrum erstreckt sich dabei von Leichtmetallen über Eisen- und Nickellegierungen bis hin zu Hartstoff-Binder-Schweißzusätzen. Anwendungen betreffen das Beschichten von tribologisch beanspruchten Oberflächen, Formänderungen oder Reparaturen an Umform- und Schneidwerkzeugen sowie den Aufbau komplexer Bauteile.

Die COAXwire-Bearbeitungsoptik wurde für die Verwendung von Diodenlasern neuester Generation weiterentwickelt. Diese verfügen heutzutage über einen Steckdosenwirkungsgrad von über 30 Prozent und arbeiten in einem Wellenlängenbereich von 940 nm bis 1060 nm.

Es wurde der Einsatz wiederholgenauer, hochdynamischer Drahtzufuhreinheiten untersucht. Reibungsarme Führungen, Sensorik zur Istwert-Erfassung, ein Puffersystem zur Entkopplung von Primär- und Sekundärtrieb und die Verwendung von 4-Rollen-Antrieben leisten ihren Beitrag zur Erhöhung der Prozessstabilität.

Die Neuentwicklung einer flexiblen Schutzgaskammer ermöglicht die Prozessführung unter hochreiner Schutzgasatmosphäre. Die Kammer ist so gestaltet, dass sie in kurzer Zeit auf den Maschinentisch einer CNC-Anlage oder die Dreh-Kipp-Achse eines Robotersystems montiert werden kann. Der Aufbau besteht im Wesentlichen aus einem stabilen Grundgestell und einer flexiblen Folienhaube. Im Inneren kann eine definierte Werkstückaufnahme über Spannmittel erfolgen. Zur schnellen und dichten Montage an die Optik wurde ein neuer Kopfadapter realisiert.

2

ERGEBNISSE

Für den Einsatz eines Diodenlasers mit einem Strahlparameterprodukt von 30 mm mrad gelingt die optimale Ausleuchtung der optischen Elemente auf dem gesamten Weg der Laserstrahlung durch die Bearbeitungsoptik. Bei einem Faserdurchmesser von 600 µm beträgt der resultierende Fokusbereich 2 mm. Mit der Anpassung an diesen Lasertyp ist die koaxiale Laser-Draht-Bearbeitungsoptik nunmehr kompatibel zu allen in der Materialbearbeitung üblichen Laserstrahlquellen.

Für alle Laser kann die Schutzgaskammer eingesetzt werden, die sich innerhalb von 30 Minuten auf einen Restsauerstoffgehalt von 20 ppm befüllen lässt, indem sie bodenseitig mit reinem Argon oder einer an die Schweißanwendung angepasste Mischgaszufuhr beaufschlagt wird. Diese inerte Atmosphäre hält die Kammer auch unter Bewegung der adaptierten Optik konstant, wodurch besonders stabile Prozessbedingungen vorliegen (Abb. 3). Während des Schweißens genügt dabei aufgrund der hohen Dichtigkeit des Systems bereits ein Gasstrom von nur 10 l min⁻¹.

Prozess des koaxialen Laser-Draht-Auftragschweißens



3

Die Weiterentwicklung der systemtechnischen Komponenten ermöglicht die Umsetzung neuer Schweißstrategien und die Erweiterung der Fertigungsmöglichkeiten für Aluminium-, Titan- und Nickel-Legierungen als Massivdraht sowie für weitere Legierungszusammensetzungen in Form von Fülldrähten.

Beispielhaft zeigt Abbildung 2 ein schweißtechnisch aufgebautes Musterbauteil mit äußerer zylindrischer Hülle, konisch zulaufendem Innenteil und Verbindungsstegen aus dem Werkstoff Inconel 718. Bei einer Lagenhöhe von 0,8 mm und einer Laserleistung von 2,2 kW beträgt die Baurate 120 cm³ h⁻¹. Die Fertigung des 1,9 kg schweren Bauteils benötigt eine Prozesszeit von 2,5 Stunden, wobei nach Abzug von Positionier- und Wartezeiten die reine Schweißzeit nur 2 Stunden beträgt.

- 1 *Laser-Draht-Bearbeitungsoptik
COAXwire mit flexibler Schutzgaskammer*
- 2 *Geschweißtes Musterbauteil
aus Inconel 718*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Sebastian Thieme

+49 351 83391-3076

sebastian.thieme@iws.fraunhofer.de





AUTOMATISIERTES MESSSYSTEM ZUR UNTERSUCHUNG DER PULVERSTRÖMUNG

DIE AUFGABE

Die messtechnische Qualifizierung der Pulver-Gas-Strömungen von unterschiedlichen Beschichtungsdüsen für das Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) stellt einen langfristigen FuE-Schwerpunkt im Fraunhofer IWS dar. Da die Anforderungen der Nutzer aus Industrie und öffentlichen Verbundvorhaben stetig wachsen, ist die Erarbeitung einer automatisierten und in bestimmten Funktionen auch standardisierten Messeinrichtung erforderlich, die die bisher üblichen analogen fotografischen Dokumentationen ersetzt (Abb. 1). Das Ziel der messtechnischen Qualifizierung einer Beschichtungsdüse ist die quantitative Charakterisierung des Pulverstrahls einschließlich realer Lage und Dimension des Pulverfokus.

UNSERE LÖSUNG

In Zusammenarbeit der Gruppen Generative Fertigung (Sensorik & Software-Implementierung), Auftragschweißen (Konstruktion & Entwicklung) sowie weiterer Fachbereiche (SPS, Elektronik) ist eine automatisierte, vollständig autarke Pulverdüsen-Messeinrichtung zur quantitativen Bewertung von Pulverströmungen an Pulverbearbeitungsköpfen erarbeitet worden.

Diese Pulverdüsen-Messeinrichtung (Abb. 3) besteht aus drei wesentlichen Hauptbaugruppen:

- einer Messeinrichtung für die Pulver-Gas-Strömung im robusten, abschließbaren Gehäuse mit Absaugung und Auffangbehälter,
- einem standardisierten Pulverförderer sowie
- einem PC-Arbeitsplatz mit der neu entwickelten Software »PDM« zur Charakterisierung der Pulver-Gas-Strömung.

Die zentrale Komponente »Messeinrichtung« besteht aus Hochpräzisions-Lineareinheiten, die automatisiert die zu testende Beschichtungsdüse in XYZ-Richtung durch einen vertikal ausgerichteten Linienlaser verfahren. In Abbildung 4 ist der innere Messaufbau mit der Träger-Dreheinheit dargestellt, auf dem der Linienlaser und die um 90 Grad versetzte Kamera in Richtung Beschichtungsdüse positioniert ist. Mit dieser Dreheinheit ist es möglich den Pulverstrahlengang von Ringspalt-, Mehrstrahl- und künftig auch Breitstrahldüsen in verschiedenen Anstellpositionen zu vermessen.

Das während der Laserlichtschnittmessung ausströmende Pulver wird recycelbar in einem ca. 900 mm unterhalb der Düse angebrachten Behälter aufgefangen und kann je nach Kornfraktion beliebig ausgetauscht werden. Eine Absaugung für feinste Pulverpartikel im Raum ist dauerhaft in Betrieb. Neben der automatischen Türverriegelung, eingebrachten Laserschutzfenstern und einer Maschinenampel zur Anzeige des Anlagenzustandes ist ein komplexer Schaltschrank mit Not-Aus-Funktion vollintegriert.

PC-basierte Auswertesoftware »PDM« zum Vermessen der Pulverströmung an Pulverdüsen für das Laser-Pulver-Auftragschweißen





ERGEBNISSE

Über intelligente Bildverarbeitungsalgorithmen werden unter anderem der spezifische Arbeitsabstand der Düse sowie die Ausdehnung des Pulverfokus konkret analysiert. Aus der Verteilung der Partikel im Pulverfokus können Rückschlüsse auf die Homogenität und Symmetrie des Pulverstrahls gezogen werden. Mittels performanter Ethernet-basierter Feldbustechnologien kommuniziert während der Messung die PC-basierte Auswertesoftware »PDM« (Abb. 2) mit der Steuerung des Prüfstandes. Dabei werden neben dem eigentlichen Datenaustausch und der Übertragung von Steuerbefehlen auch Diagnosefunktionen bereitgestellt. Die Vermessung beinhaltet unter anderem folgende Schritte:

- Eingabe der Düsenparameter,
- Übertragung an den Prüfstand sowie dessen Peripherie,
- vollautomatisierte Justierung der Systemkomponenten,
- Kalibrierung der Helligkeit,
- Vermessung in parametrisierbarer Auflösung und
- Dokumentation der Messwerte in einem standardisierten Datenformat.

Mit der Software »PDM« ist es möglich, unterschiedliche Varianten von Beschichtungsdüsen, Kameraobjektiven und die jeweiligen Pulverförderer-Parameter wie Pulvermassenstrom, Fördergas-Volumenstrom und Schutzgas-Volumenstrom einzugeben und zu testen (Abb. 2). Mit der automatisierten Initialisierung der Anlage wird die jeweilige Beschichtungsdüse durch die Linearachsen in XYZ so positioniert, dass eine Messung der Pulverdichteverteilungen mit Helligkeitsintensitäten durchgeführt wird.

Die Messergebnisse der unterschiedlichen Pulverförderer-Parameter werden in standardisierten Bild- sowie Tabellenformaten abgelegt und können zur weiteren Auswertung und Diagnose in Form eines Histogramms (2D-Kurvendiagramm) sowie 3D-Pulverintensitätsverteilungen optimiert dargestellt werden. Die Protokolldiagramme betrachten dabei die Pulverintensitätsverteilungen mit den Arbeitsabständen von der Düsenstippen-Unterkante zum Pulverfokusdurchmesser.

- 1 *Nahaufnahme der Pulverströmung einer COAX14-V5-Pulverdüse*
- 3 *Pulverdüsen-Messeinrichtung QM-COAXn des IWS Dresden zur Charakterisierung von Pulverdüsen für das Laser-Pulver-Auftragschweißen*
- 4 *Drehtischeinheit mit Linienlaser sowie Kamera und Lineareinheit mit COAX14-V5-Pulverdüse*

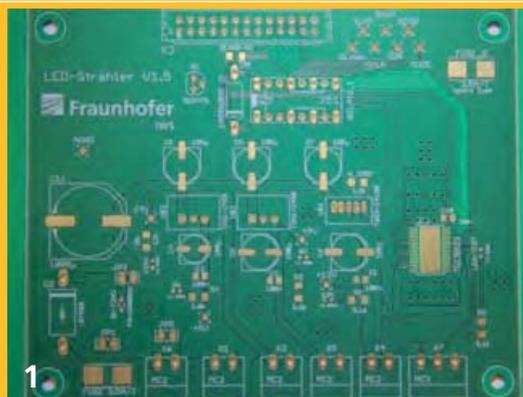
KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Frank Kubisch

☎ +49 351 83391-3147

✉ frank.kubisch@iws.fraunhofer.de





NEUES KALIBRIERSYSTEM FÜR DAS TEMPERATURMESSSYSTEM »E-MAQs«

DIE AUFGABE

Für verschiedene Prozesse der Lasermaterialbearbeitung wird seit mehr als 10 Jahren sehr erfolgreich das Temperaturmesssystem »E-MAqS« eingesetzt. Verglichen mit einer herkömmlichen pyrometrischen Lösung bringt dieses System vor allem beim Laserstrahlhärten und -auftragschweißen enorme Verbesserungen der Prozessregelung und -führung.

Eine präzise Messung der Oberflächentemperatur dient als Basis für eine optimale Prozesssteuerung. Sie setzt eine genaue Kalibrierung des Systems voraus, die wegen der Anwendungsvielfalt und Flexibilität des »E-MAqS«-Systems durch den Anwender vor Ort erfolgen muss. Dafür bedarf es eines einfachen, kleinen und funktionsangepassten Kalibrierstrahlers. Ein klassischer schwarzer Strahler ist für Anwendungen in industrieller Umgebung zu aufwändig und fehleranfällig.

Die intuitive Bedienung des spezifischen Strahlers sollte sowohl manuell als auch durch eine PC-Software gesteuert werden können. Selbst eine Ansteuerung per Fernwartung über das Internet wird von einigen Kunden gefordert, da die Kalibrierung so als kostengünstige Serviceleistung weltweit angeboten werden kann. Wünschenswert ist zudem eine Selbstdiagnosefunktion, um System- bzw. Fehlerzustände automatisch erkennen und darstellen zu können.

UNSERE LÖSUNG

Der funktionale Kern des IWS-Systems ist ein Hochleistungs-LED-Array mit einer optischen Ausgangsleistung von 1 W. Dieses LED-Array bestrahlt in einem schmalen Wellenlängenband eine Diffusorscheibe, welche durch eine mechanische Blende begrenzt

wird. Das zu kalibrierende Temperaturmesssystem »E-MAqS« nutzt den identischen schmalbandigen Bereich des elektromagnetischen Spektrums für die Temperaturmessung.

Als Treiberstufe für das LED-Array kommt eine programmierbare Konstantstromquelle zum Einsatz. Dieser integrierte Schaltkreis wird über eine Busschnittstelle angesteuert und ermöglicht Stromänderungen mit einer Auflösung von 0,3 mA über einen Einstellbereich von 600 mA. Der Masterbaustein dieser Kommunikation ist ein moderner Mikroprozessor. Dieser besitzt umfangreiche Kommunikationsschnittstellen und ermöglicht neben der Kommunikation mit Sensoren auch Feldbusschnittstellen sowie eine vollwertige Ethernet- und damit Internetanbindung.

Für einen geringen Platzbedarf, wenig Gewicht, geringe Störanfälligkeit und optimalen Energieverbrauch wurde eine speziell angepasste hochintegrierte Leiterplatte entwickelt (Abb. 1). Zusätzlich zu diesen Grundfunktionen gibt es Schaltungsfunktionen zur Selbstdiagnose. So werden wichtige Parameter wie Leistungswerte, Temperatur oder maximale Strom- und Spannungswerte permanent überwacht. Alterungsprozesse, Beschädigungen des LED-Arrays oder anderer Schaltungsbestandteile sowie Fehlbedienungen werden so sicher erkannt.

Durch einen hochpräzisen Echtzeituhr-Baustein wird der Anwender auf regelmäßige Kalibrierzyklen hingewiesen, Fehlermeldungen werden mit einem Zeitstempel versehen. Weitere verwendete Sensoren sind ein Lage- und ein Beschleunigungssensor, welche als integrierte Wasserwaage bzw. Winkelmesser wirken. Als Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) dient ein modernes grafisches Touchdisplay mit intuitiver Menüführung.



2

ERGEBNISSE

Das LED-Array des IWS ist in einem Temperaturbereich von 800 ° bis 1450 °C auf den nationalen Standard Deutschlands der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt kalibriert und dient als speziell angepasstes Kalibriermittel für das im IWS entwickelte Temperaturmesssystem »E-MAqS«. Alle Kalibrierdaten sind direkt auf dem jeweiligen Sensor gespeichert. Eine Fehlbedienung durch das Laden und Verwenden falscher Kalibrierdaten durch den Anwender ist damit ausgeschlossen.

Das Hochleistungs-LED-Array wird automatisch nur für die wenige Sekunden dauernden Kalibriermessungen eingeschaltet. Das wirkt Alterungsprozessen der verwendeten Bauteile entgegen, ist energieeffizient und ermöglicht eine Energieversorgung wahlweise mit einem 24 V-Steckernetzteil, einer Batterie oder Power-Over-Ethernet. Per Fernwartung können der Kalibrierstrahler überwacht und der Kalibriervorgang durchgeführt werden. Der Anwender des Systems muss nur noch den mechanischen Aufbau aller Komponenten sicherstellen. Nach dem Fernzugriff auf das Netzwerk der jeweiligen Anlagen und Einzelsysteme kann der Kalibriervorgang dann als Dienstleistung oder zusammen mit dem Kunden auch in Form einer Schulung durchgeführt werden. Ein Softwaremodul ermöglicht die Verwaltung einzelner Kalibrierprojekte.

Für eine vollständige Kalibrierung eines »E-MAqS«-Temperatursensors genügt die Aufnahme von zwei geeigneten Kennlinien. Unter Anwendung des Planckschen Strahlungsgesetzes wird ein Faktor berechnet, welcher die spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Konfiguration wie Blende, Belichtungszeit, Binningmodus der Kamera, sowie Messabstand, Dämpfung der Laseroptik und vieler weiterer Einflüsse beschreibt. Neben dem Grauwertsignal der Kamera und der Temperatur besteht der mathematische Zusammenhang nur noch aus einfachen Konstanten bzw. Naturkonstanten. Nach Ermitteln des Faktors können somit alle weiteren Kennlinien für jeden beliebigen Temperaturbereich genau berechnet werden.

Innerhalb weniger Mikrosekunden können während einer Messung die Messbereiche des Temperaturmesssystems »E-MAqS« umgeschaltet und in Anhängigkeit von den Mess- und Kameraparametern die korrekte Temperatur berechnet werden. Die genauen Zeitgeber-Bausteine der Kamera ermöglichen hierbei auch präzise Temperaturberechnungen weit oberhalb des Kalibrierbereichs. So sind für Hochtemperaturprozesse auch Temperaturmessungen bis 3000 °C bei geringem Messfehler möglich. Derart berechnete Kennlinien werden durch die Software automatisch erstellt und in einem für die Regelsoftware anwendbaren Format gespeichert.

Für eine präzise Kalibrierung ist auf eine möglichst lotrechte Bestrahlung des »E-MAqS«-Systems durch den Kalibrierstrahler zu achten. Der Winkelfehler sollte $\pm 3^\circ$ nicht übersteigen, was jedoch auch in industrieller Umgebung mit den integrierten Lagesensoren und Wasserwagen einfach zu realisieren ist.

Die verschiedenen Gehäuseformen des Strahlers werden in 3D-Drucktechnik ausgeführt. Diese Technologie ermöglicht robuste und gleichzeitig flexibel angepasste mechanische Designs, ob als tragbares Gerät oder fest installierte Maschinenkomponente (siehe Abb. 2).

- 1 *Schaltplatine des LED-Arrays zur Temperaturkalibrierung*
- 2 *Gehäusedesign, ausgeführt in 3D-Drucktechnik*

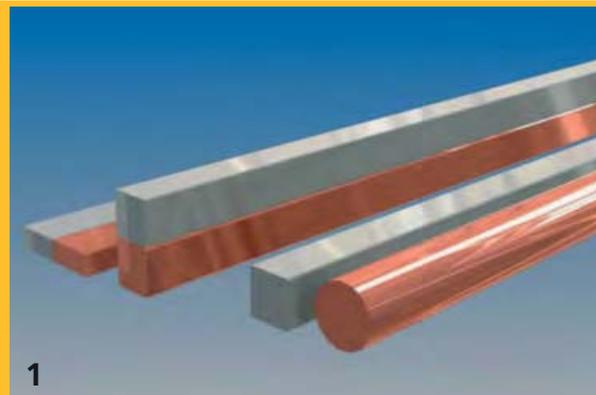
KONTAKT

Dipl.-Ing. Jan Hannweber

☎ +49 351 83391-3360

✉ jan.hannweber@iws.fraunhofer.de





DRAHTFÖRMIGE LASERWALZPLATTIERTE BIMETALLE

DIE AUFGABE

Bimetalle sind seit Jahrzehnten aus verschiedenen Bereichen der Technik nicht mehr weg zu denken. Hergestellt über Kalt- bzw. Warmwalzplattieren, Verbundstrangpressen oder Schleuderverbundguss, kommen sie als Kontakt- bzw. Anschlusselemente, Verbindungselemente (Transition Joints) oder auch als Lagermaterial zum Einsatz. Mittels geeigneter Werkstoffverbunde können zu einem Eigenschaftensatz in einem Halbzeug kombiniert werden, die über homogene Werkstoffe nicht darstellbar sind. Zum anderen lassen sich hochwertige Werkstoffe wesentlich effektiver und dadurch auch sparsamer anwenden. Beide Motivationen gewinnen gegenwärtig wieder verstärkt an Bedeutung.

Der überwiegende Teil der Bimetall-Halbzeuge wird als Bänder oder Bleche gefertigt. Für Applikationen, die sehr schlanke Halbzeug-Geometrien erfordern, wie z. B. elektrische Anschluss- oder Kontaktkomponenten sowie Transition Joints, bedeutet dies einen hohen Zerspannungsaufwand und damit eine kostenintensive Fertigung. Schlanke, drahtförmige Bimetalle sind kommerziell nur als vollummantelter Runddraht erhältlich (z. B. Cu/Stahl). Auf kleine Endabmessungen ausgelegte Rechteckdrähte und -profile wären mit einem deutlichen fertigungstechnischen und damit auch wirtschaftlichen Vorteil verbunden.

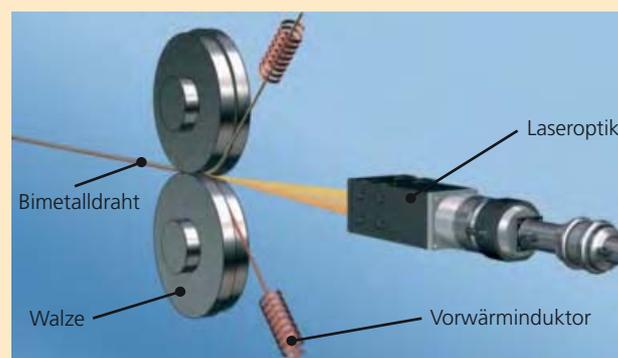
UNSERE LÖSUNG

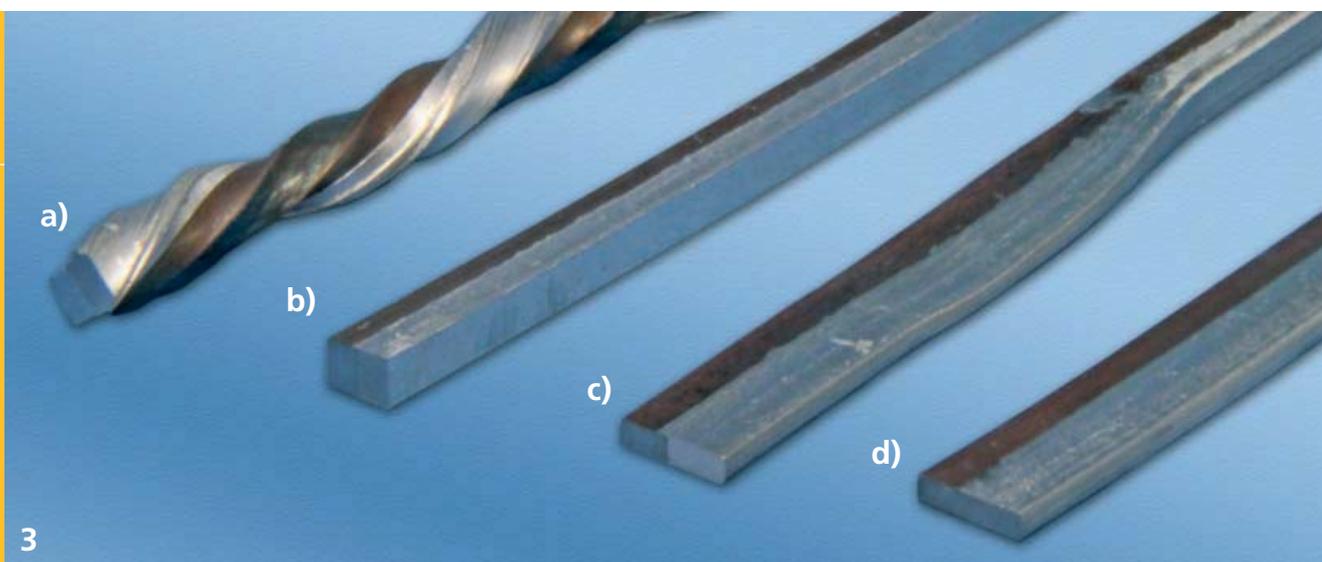
Die Fertigung profilierter Bimetall-Drähte über das am Fraunhofer IWS patentierte Laserwalzplattieren stellt eine kostengünstige Alternative zur Fertigung schlanker Bimetall-Halbzeuge dar. Das Grundprinzip dieses Verfahrens ist in Abbildung 2 wiedergegeben.

Im Unterschied zu konventionellen Plattier-Verfahren werden beim Laserwalzplattieren die beiden Ausgangshalbzeuge (Quadrat- oder Rechteckdrähte mit einer Kantenlänge bis zu 5 mm) in einem 45 ° Winkel zum Walzspalt geführt (Abb. 2). Dadurch können die Innenflächen der Drähte mit einem linien- bzw. rechteckförmigen Laserstrahl unmittelbar vor dem Walzspalt auf Prozesstemperatur erhitzt werden. Laserleistungen von maximal 3 bis 4 kW sind für die meisten Drahtgeometrien ausreichend. Der äußerst dosierte und lokale Wärmeeintrag hat zur Folge, dass sich auch die Verformung nur auf diese Drahtbereiche lokalisiert.

Darüber hinaus können die beiden Ausgangsdrähte bei Bedarf individuell induktiv (über die integrierten HF-Generatoren) vorgewärmt werden. Die Bedingungen im Walzspalt können somit optimal auf die jeweilige Werkstoffkombination und die konkreten geometrischen Anforderungen angepasst werden. Die erwärmten Bereiche als auch die sich unmittelbar vor dem Walzspalt befindende Laserkontaktzone werden mittels einer Schutzgas-Einhausung vor Oxidation geschützt.

Grundprinzip induktiv unterstütztes Laserwalzplattieren von drahtförmigen Halbzeugen





3

ERGEBNISSE

Die verfahrenstypischen Randbedingungen (lokaler Energieeintrag und lokale Verformung) erlauben sehr geringe Gesamtverformungsgrade, um hochbelastbare Bimetall-Drähte zu erzeugen. Das ermöglicht auf der einen Seite die Fertigung von endkonturnahen Plattierungen. Auf der anderen Seite ergeben sich größere Freiheitsgrade in der Dickenkombination der zu verbindenden Halbzeuge als bei konventionellen Walzplattierverfahren. Um auch bei den sehr schmalen Rechteck-Drähten eine gleichmäßige Verformung über den gesamten Querschnitt zu gewährleisten, kommt ein als »geschlossenes Kaliber« ausgelegtes Walzenpaar zum Einsatz. Die Walzen bilden im Walzspalt die gewünschte Kontur des Bimetalls aus.

Sofern die Werkstoffe als Drähte verfügbar sind, ist eine Vielzahl an Werkstoffpaarungen durch Laserwalzplattieren herstellbar. Dieses sind neben verschiedenen Kombinationen von Stählen und Kupfer bzw. Kupferlegierungen mit Aluminium bzw. deren Legierungen auch Stähle mit Kupferlegierungen, Bimetalle aus verschiedenen Stählen und Kontaktwerkstoffe.

Je nach Verformungsfähigkeit des Bimetall-Verbundes sind auch schmale Stumpfstoßverbindungen mit ca. 1 mm Dicke möglich (Abb. 3). Diese können beispielsweise als Transition Joints im Bereich des Fahrzeugbaus oder für verschiedene Applikationen im Bereich Elektrotechnik/Elektronik eingesetzt werden.

Eine Erweiterung des Anwendungsspektrums ergibt sich aus einer Kombination des Laserwalzplattierens und einem nachfolgenden Kalt- bzw. Halbwarm-Walzen (siehe Abb. 3). Dabei wird mittels Laserwalzplattieren eine Vorkontur gefertigt, um 90 ° zur Walzebene gedreht und im Anschluss auf Endkontur gewalzt. Am IWS kommt hierfür das zweite Walzgerüst der Laserwalzplattieranlage zum Einsatz. Dieses, nach dem Prinzip des flexiblen Türkenkopfes ausgelegte Walzgerüst, ermöglicht verschiedene Rechteck-Querschnittsformen ohne Werkzeugwechsel.

Prinzipiell ergibt sich auch über das Kalibriergerüst die Möglichkeit, in einem vorbereitenden Arbeitsgang aus kommerziell verfügbaren Runddrähten die geeigneten quadratisch oder rechteckig konturierten Ausgangshalbzeuge zu fertigen.

Wesentlicher Vorteil des Verfahrens ist die Tatsache, dass beim Laserwalzplattieren keine oder nur partiell ausgebildete Sprödphasen zu beobachten sind. Dieses ermöglicht Werkstoffverbunde mit hohen Festigkeiten und guter Kaltumformbarkeit auch für Werkstoffpaarungen, die traditionell eine starke Tendenz zur Bildung von intermetallischen Phasensäumen am Werkstoffübergang aufweisen, beispielsweise Kombinationen von Stahl bzw. Kupfer mit Al-Werkstoffen. Beim Laserwalzplattieren erzeugt die Verformung der zu kombinierenden Werkstoffe unmittelbar an der Fügezone einen Werkstofffluss entgegen der Vorschubrichtung. Hierdurch wird die diffusionsgesteuerte Bildung von intermetallischen Phasensäumen am Werkstoffübergang gestört.

- 1 *Darstellung der Ausgangs- und der Endprodukte (Simulation), von rechts: runder Ausgangsdraht, zum Vierkantdraht gewalzt, rechteckiger Bimetalldraht, flach ausgewalzt*
- 3 *Laserwalzplattierte Cu/Al-Bimetalle: a) laserwalzplattiert und verdrillt, b) laserwalzplattiert, c) Übergang laserwalzplattiert und gewalzt, d) auf Endkontur gewalzt*

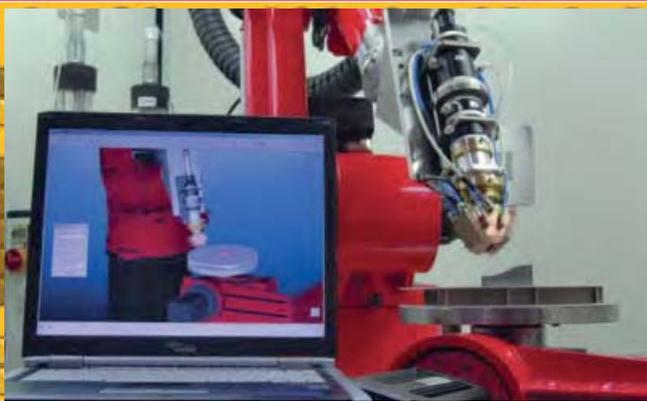
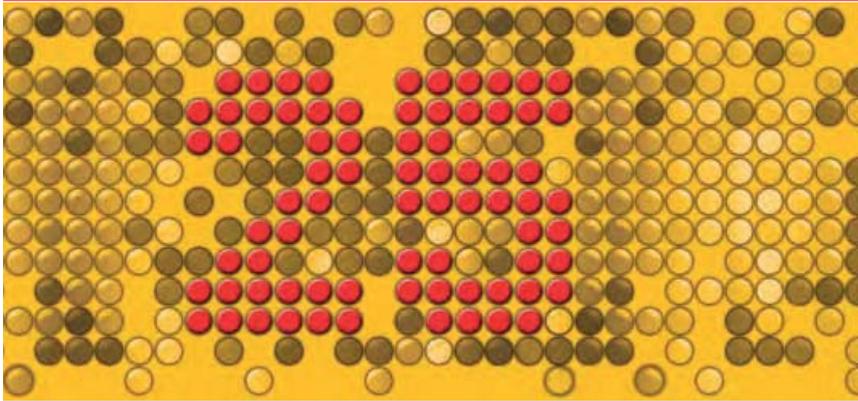
KONTAKT

Dipl.-Ing. Volker Fux

☎ +49 351 83391-3243

✉ volker.fux@iws.fraunhofer.de





SOFTWARELÖSUNGEN FÜR DURCHGÄNGIGE LASERPROZESSKETTEN



ANDREAS SCHROEDER
Geschäftsführer
S.K.M. Informatik GmbH



PROF. STEFFEN NOWOTNY
Abteilungsleiter Laserauftragschweißen
Fraunhofer IWS

Redaktion: Herr Schroeder, wie lange besteht die Zusammenarbeit zwischen der S.K.M. Informatik GmbH und dem IWS und was war der Ausgangspunkt dafür?

Herr Schroeder: Ausgangspunkt für die Zusammenarbeit war eine Projektberatung für das BMBF-Projekt PROLAS in Dresden 1997 durch unseren CAM-Leiter Thomas Heptner. Somit haben wir in diesem Jahr 20-jähriges Jubiläum! Und das DCAM-System von S.K.M. hat sich mittlerweile im gesamten Umfeld der Laser-Materialbearbeitung zu einer der führenden Plattformen für individuelle CAD/CAM-Lösungen entwickelt und wird weltweit eingesetzt.

Redaktion: Was zeichnet ihre Softwarelösung gegenüber anderen Programmiersystemen aus?

Herr Schroeder: Ich meine, uns zeichnet eine besondere Flexibilität aus. Diese liegt in der modularen Architektur unserer Technologiebausteine und der entsprechenden Schnittstellen begründet. Im Ergebnis der langjährigen Entwicklungsarbeit unserer Ingenieure und Softwareentwickler werden mit unserer Software Programme für CNC- und Robotersteuerungen erzeugt, welche neben der Bahngeometrie auch punktgenau die Peripherie ansteuern (Laser, Pulver, Gase, Sensorik). Das IWS hat uns hier immer wieder neu herausgefordert.

Prof. Nowotny: Wir schätzen an dem S.K.M.-Softwaremodul vor allem die effiziente CAM-Planung und Simulation bahngesteuerter Prozesse mit besonders anspruchsvollen kinematischen Systemen. Bis zu 9 Achsen können parallel angesteuert werden, und das nicht nur für CNC-Anlagen, sondern besonders im Umfeld von Roboter-Lösungen mit zusätzlichen Achsen, externen Positionierern, etc.



Redaktion: Welche Impulse hat die Lasertechnik DCAM verliehen. Welchen Anteil hat das IWS daran?

Herr Schroeder: Die Lasertechnologie und die Vielfalt der Anwendungsszenarien von Werkzeugen und Werkstoffen sowie der Geometrien und Kinematiken haben der Lösungsplattform DCAM als Offline-Programmiersystem wesentliche Impulse verliehen. Ausdruck dafür sind die entwickelten prozessspezifischen DCAM-Technologiemodule. Zahlreiche Funktionen für die CAM-gerechte Geometrieaufbereitung, effiziente Strategien für die Bahnplanung und komplexe Simulationswerkzeuge wurden und werden laufend entwickelt, um mit hohem Automatisierungsgrad den Planungsprozess zu vereinfachen und zu beschleunigen. Gerade die sehr frühe Zusammenarbeit mit dem IWS in entsprechenden Forschungsprojekten war gewissermaßen die »Initialzündung« besonders für CAM-Softwaretechnologien rund um das Laserauftragschweißen.

Redaktion: In welchen Bereichen der Laser-Materialbearbeitung wird DCAM derzeit angewendet?

Herr Schroeder: DCAM stellt integrierte Technologiemodule für das laserbasierte Beschichten, Härten, Generieren, Schweißen und Schneiden mit CNC-Maschinen und Robotern bereit. In Kürze werden wir auch Lösungen für die Additive Fertigung anbieten können. Die damit realisierten Lösungen stellen heute das CAM-Kerngeschäft von S.K.M. dar. Hochschulen, Universitäten, Institute, Anlagenbauer und Endanwender weltweit aus nahezu allen Branchen gehören zu unseren Kunden.

Redaktion: Was waren die Motive für S.K.M. so ungewöhnlich lange – inzwischen bereits 20 Jahre – ausgerechnet mit dem IWS zusammenzuarbeiten?

Herr Schroeder: Gerade der Marktzugang seitens des IWS über die Düsen-Technologie und den damit verbundenen Technologiepartnern, wie z. B. Laserhersteller sowie Roboter- oder Anlagenbauer, war und ist von strategischem Interesse für S.K.M.. Genau durch diese langjährigen Industriepartnerschaften spielen wir gemeinsam auf dem Weltmarkt technologisch »ganz vorn« mit. Die intensive Kooperation mit dem IWS in Industriernetzwerken wie AGENT-3D, in diversen anspruchsvollen Kundenprojekten sowie in richtungsweisenden Forschungsprojekten ist da ganz klar eine tolle Erfolgsgeschichte.

Prof. Nowotny: Wir schätzen an S.K.M. vor allem die hohe Sachkunde und die Bereitschaft, sich jeder noch so anspruchsvollen Aufgabe zu stellen und Lösungsvorschläge anzubieten.

Redaktion: Wie sieht die Zukunft aus?

Herr Schroeder: S.K.M. ist hervorragend vernetzt mit Industrie, Institutionen und Hochschulen. Dies betrifft insbesondere das hochaktuelle Umfeld der additiven Fertigungsverfahren. Die sich abzeichnenden Potenziale, nicht nur im Metallbereich sondern auch durch die Kombination mit Keramik und Kunststoffen, lassen kaum noch Anwendungsgrenzen erkennen. Gute Aussichten – aber ganz klar auch ein enormer Entwicklungsdruck an alle Technologiepartner. Man kann auf jeden Fall sagen, dass die Signale bei uns in diesem Bereich klar auf Wachstum zeigen. S.K.M. ist in einer Vielzahl von Forschungsprojekten bis 2020 eingebunden, davon allein in drei Projekten zusammen mit dem IWS. Zusätzlich engagiert sich S.K.M. u. a. als Vorstandsmitglied in der vom Fraunhofer Institut Dresden initiierten AGENT-3D-Initiative.

FÜGEN



Redaktion: Herr Dr. Standfuß, Laserstrahlschweißen ist bekanntlich das Fügeverfahren, in dem das Fraunhofer IWS langjährige Erfahrungen mit werkstoffbezogenen Entwicklungen hat. Wo sehen Sie die aktuellen Herausforderungen?

Dr. Standfuß: Die werkstoffbezogenen Prozessentwicklungen richten sich am IWS vor allem auf das laserbasierte Mehrlagenschweißen von Aluminium und heißempfindlichen Nickellegierungen sowie auf Lötanwendungen. Wir beobachten dabei, dass ganzheitliche Lösungen in diesem Bereich neben der verfahrenstechnischen Seite eine Betrachtung der systemtechnischen Aspekte erfordern. Darum haben wir in den letzten Jahren verstärkt auch Systemtechnik entwickelt und erprobt. So nutzen wir zum Beispiel High-Speed-Kamerasysteme mit eigens angepasster Prozessbeleuchtung und Bilderkennung für die effiziente Entwicklung von Anwendungen zum Laserstrahl-löten und -schweißen mit Scanner. In Zukunft werden wir unseren Kunden verstärkt eine Kombination aus verfahrens- und systemtechnischer Lösung anbieten können. Ein erstes erfolgreiches Beispiel dafür ist das in diesem Jahr in die Fertigung überführte Laserstrahlschweißen von Ableitgittern für Turbolader bei der Firma Kompressorenbau Bannewitz.

Redaktion: Stellen sich ähnliche Herausforderungen auch für andere in Ihrem Haus praktizierte Fügetechnologien?

Dr. Standfuß: Natürlich! Wir versuchen zum Beispiel, unser bestehendes Know-how zu laserbasierten Verfahren und Systemen auch im Bereich Kleben und Faserverbundtechnik in industriereife Lösungen zu übertragen. Interesse finden diese Entwicklungen z. B. in der Luftfahrtindustrie im Bereich der lasergestützten Oberflächenvorbehandlung zur Herstellung geklebter Faser-Metall-Laminare. Mit unseren Lösungen ist die Werkstoffpalette für die Luftfahrt erweiterbar. Um die verfahrenstechnischen Entwicklungen unserer Kunden bis hin

»Die Neugier steht immer an erster Stelle des Problems, das gelöst werden will.«

Galileo Galilei



GESCHÄFTSFELDLEITER

DR. JENS STANDFUß

☎ +49 351 83391-3212

✉ jens.standfuss@iws.fraunhofer.de

zu prototypischen Anwendungen und Bauteilen begleiten zu können, haben wir zudem gemeinsam mit Industriepartnern eine multifunktionale Anlage für die effiziente Großflächenbearbeitung mit verschiedenen Laserstrahl- und Plasmaquellen konzipiert und entwickelt. Dieses flexible Anlagenkonzept ist optimal für das Oberflächenvorbehandeln vor dem Kleben aber auch für andere Bearbeitungstechnologien wie Schweißen, Schneiden, Abtragen und Strukturieren anwendbar. Werkstoffseitig können Metalle, Kunststoffe und Textilien bearbeitet werden.

Redaktion: Welche Neuigkeiten gibt es auf dem Gebiet des Rührreißschweißens?

Dr. Standfuß: Die seit vielen Jahren sehr erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem Airbus-Konzern hat uns neue Aufgaben im Bereich des Fügens von Rumpfstrukturen beschert. Nach verfahrens- und systemseitigen Entwicklungen zum Laserstrahlschweißen von Stringer-Haut-Verbindungen für metallische Rumpfschalen arbeiten wir in der Arbeitsgruppe Sonderfügeverfahren nun an Lösungen für einen vollständig geschweißten metallischen Rumpf. Die Entwicklung und Erprobung einer Technologie zum Fügen von Demonstratoren mit flugzeugtypischen Abmessungen erfordert ein hohes Verständnis für den Prozess des Rührreißschweißens. Auch hier ist wiederum spezielles systemtechnisches Know-how gefragt.

Redaktion: Und wie steht es um die Bauteilauslegung?

Dr. Standfuß: Die Arbeiten und das Wissen in diesem Bereich sind für unsere Kunden immer wichtiger. Sie ermöglichen uns eine geschlossene Lösung anzubieten. Denn neben den bereits genannten Aspekten, Verfahren und Systemtechnik, spielt insbesondere für Leichtbauanwendungen die Bauteilauslegung eine immer größere Rolle. Daher ist die Arbeitsgruppe in nahezu alle Projekte des Geschäftsfeldes involviert.



KOMPETENZEN UND ANSPRECHPARTNER



Dr. Axel Jahn, Abteilungsleiter Laserstrahlfügen

☎ +49 351 83391-3237 / ✉ axel.jahn@iws.fraunhofer.de

» Laserstrahlfügen findet zunehmend ein breitgefächertes industrielles Anwendungsfeld. Dabei können die laserbasierten Verfahren ihre Vorteile besonders dort ausspielen, wo hohe Präzision und Bauteilqualität verbunden mit hoher Wirtschaftlichkeit gefragt sind. Aufgrund der rasant steigenden Herausforderungen bezüglich zu fügender Werkstoffe und Werkstoffkombinationen sowie höherer Bauteilbelastungen werden immer anspruchsvollere fügetechnische Lösungen gesucht. Die Abteilung Laserstrahlfügen bearbeitet umfassende Aufgaben von der prozess- und belastungsgerechten Bauteilauslegung über die werkstoffgerechte Schweißprozessentwicklung bis hin zur Bewertung der Bauteilqualität und Prozesseffizienz. «



Dr. Dirk Dittrich, Gruppenleiter Laserstrahlschweißen

☎ +49 351 83391-3228 / ✉ dirk.dittrich@iws.fraunhofer.de

» Prozessverständnis und metallphysikalisches Hintergrundwissen sind die Basis für angepasste Laserstrahlschweißverfahren. Verfahren mit integrierter Kurzzeitwärmebehandlung, mit werkstoffangepassten Zusatzwerkstoffen sowie hochfrequenter Strahlmanipulation ermöglichen einen neuen Zugang zur Herstellung rissfreier Schweißverbindungen aus härtbaren, hochfesten Stählen, Gusseisen, Leichtmetall-Druckguss und heißbrisanfälligen Al- oder Ni-Werkstoffen, Mischverbindungen sowie Bauteilen mit hoher Steifigkeit. Dem Credo »Lösungen aus einer Hand« entsprechend entwickelt die Arbeitsgruppe hierfür angepasste Schweißtechnologien und begleitet diese gemeinsam mit Kunden bis hin zur industriellen Anwendung. «



Dr. Axel Jahn, Gruppenleiter Bauteilauslegung

☎ +49 351 83391-3237 / ✉ axel.jahn@iws.fraunhofer.de

» Erhöhte Bauteilanforderungen, innovative Werkstoffe bzw. Werkstoffkombinationen sowie neuartige Fertigungsverfahren erfordern in der Regel auch neue konstruktive Ansätze. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Verfahren, insbesondere der verschiedenen Füge- und Wärmebehandlungstechnologien, bietet die Arbeitsgruppe deshalb strukturelle FE-Simulationen, thermisch-mechanisch gekoppelte Berechnungen sowie deren experimentelle Verifizierung an. Zielstellung ist eine prozessgerechte und belastungsangepasste Bauteilgestaltung entsprechend der Vorgaben des Kunden. Die Lösungen entstehen in enger Zusammenarbeit mit der Verfahrensentwicklung und der Werkstoffcharakterisierung in unserem Hause. «



Dipl.-Ing. Annett Klotzbach, Gruppenleiterin Kleben und Faserverbundtechnik
☎ +49 351 83391-3235 / ✉ annett.klotzbach@ivs.fraunhofer.de



» Den industriellen Anforderungen zur Entwicklung von Fügetechnologien für den Faserverbund-Leichtbau wurde durch die Bündelung der Kompetenzen in der Arbeitsgruppe Rechnung getragen. Moderne Labore und effiziente Anlagentechnik stehen zum Beispiel für die Entwicklung von neuen Vorbehandlungsprozessen für das großflächige Kleben von Metallen und Polymeren zur Verfügung. Dabei kommen sowohl Plasma- als auch Laser- vorbehandlungsverfahren zum Einsatz. In Ergänzung zu den Kompetenzen des strukturellen Klebens werden die Grundlagen für das thermische Direktfügen von thermoplastischen Verbundmaterialien erarbeitet. Für den Nachweis der Verbindungsfestigkeit unter Umweltbedingungen erfolgen neben mechanischen Prüfverfahren auch Alterungsuntersuchungen, wie Klima- und Salzsprühtests. «

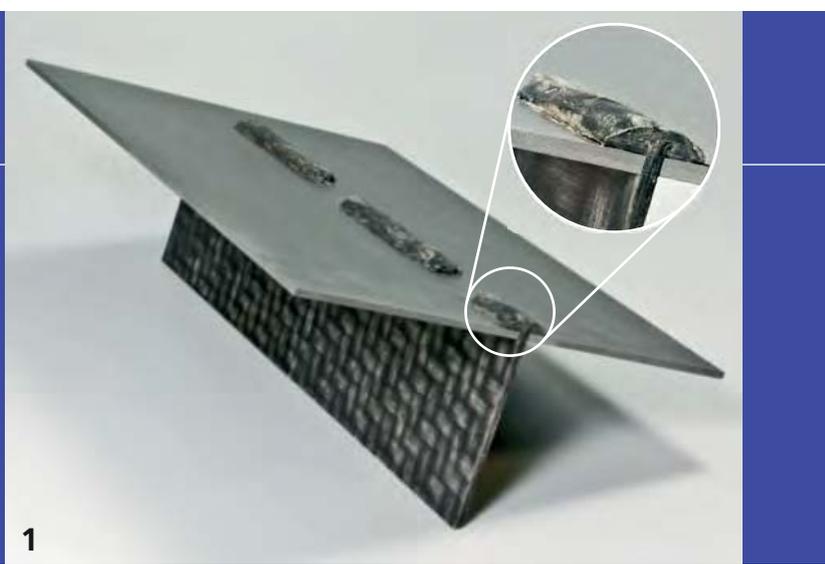
Dr. Sebastian Schulze, Gruppenleiter Sonderfügeverfahren
☎ +49 351 83391-3565 / ✉ sebastian.schulze@ivs.fraunhofer.de



» Häufig lassen sich moderne Funktionswerkstoffe nur noch eingeschränkt mit Standardschmelzschweißverfahren fügen, bei Metallen betrifft dies beispielweise viele hochfeste Aluminiumlegierungen. Wird eine Verbindung verschiedener Metalle gewünscht, etwa Aluminium und Kupfer, verschärft sich das Problem durch die aus der Schmelze entstehenden, stark festigkeitsmindernden, intermetallischen Phasen noch. In der Arbeitsgruppe werden daher gezielt Fügeverfahren weiterentwickelt, die eine Schmelze und damit verbundene Probleme vermeiden. Primärer Fokus liegt auf den Verfahren Rührreibschweißen sowie dem elektromagnetischen Pulsfügen, für die Prozessentwicklungen, Prototypenschweißungen und systemtechnische Weiterentwicklungen angeboten werden. «

BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2016

1. Thermomechanisches Fügen von Metall und Faserkunststoffverbund	72
2. Große Flächen effizient mit Laser- und Plasmatechnologie bearbeiten	74
3. Fügen von Nickelsuperlegierungen mit Laser-Mehrlagen-Engstspaltschweißen	76
4. Werkstofftechnische Studien zur Herstellung von Al-Cu-Zellverbindern	78
5. Verbesserung der Fügeverbindung durch Laserstrahllöten mit Strahloszillation	80
6. Fügen im Flugzeugbau – mehr Effizienz durch Leichtbau	82



1

THERMOMECHANISCHES FÜGEN VON METALL UND FASERKUNSTSTOFFVERBUND

DIE AUFGABE

Sowohl im Automobil- als auch im Flugzeugbau geht der Trend hinsichtlich neuartiger Materialien in Richtung Werkstoffverbunde. Dabei werden verschiedene Werkstoffe miteinander kombiniert, um deren Vorteile je nach Beanspruchung gezielt zu nutzen. In vielen innovativen Konstruktionen kommen sowohl metallische Mischbauteile (bspw. Stahl-Aluminium) als auch artfremde Hybridstrukturen (bspw. Metall-Faserkunststoffverbund) zum Einsatz.

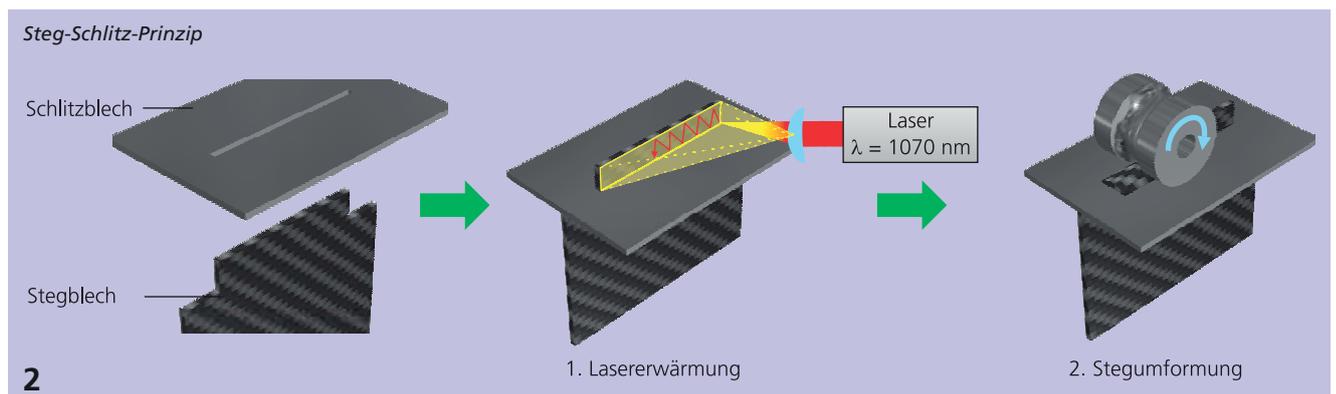
Eine große Herausforderung stellt bei solchen Hybridbauweisen das Verbinden der Fügepartner dar, welches sich im Gegensatz zur monolithischen Bauweise wesentlich komplizierter gestaltet. Für jede Werkstoffpaarung ist daher ein angepasstes, werkstoff-, fertigungs- und konstruktionsgerechtes Fügekonzept notwendig, um Verbindungen mit ausreichender Qualität und Belastbarkeit reproduzierbar herzustellen.

Das Fraunhofer IWS Dresden steht somit vor der Aufgabe, ein Laserstrahlfügeverfahren zum Verbinden von Metall und Faserkunststoffverbund in T-Stoß-Konfiguration zu entwickeln und hinsichtlich der Verbindungsfestigkeiten zu untersuchen.

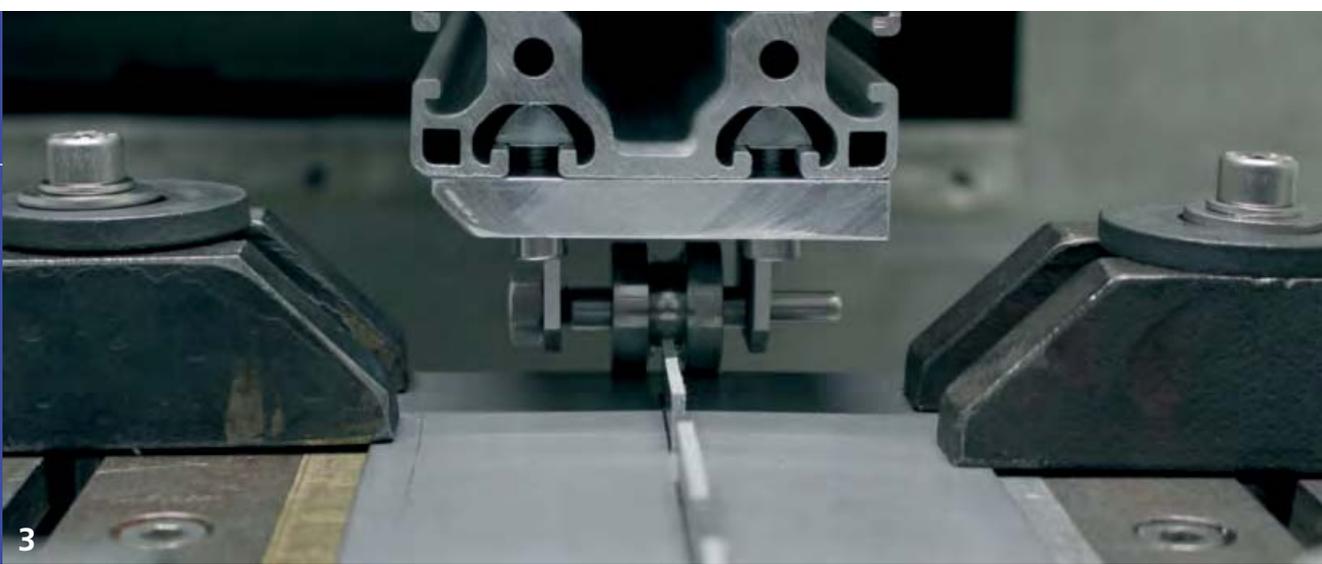
UNSERE LÖSUNG

Das am Fraunhofer IWS Dresden entwickelte Steg-Schlitz-Prinzip (Patent Nr.: DE102011120269 A1), welches bereits zum formschlüssigen Verbinden zweier metallischer Bleche zur Anwendung kommt, wird auf das Fügen eines Organoblechs (faserverstärkter Thermoplast) als Stegblech mit einem metallischen Blech als Schlitzblech übertragen (Abb. 1).

Nach dem Ineinanderstecken der beiden Bleche wird der überstehende Teil des faserverstärkten Thermoplast-Stegblechs mithilfe eines Faserlasers (Wellenlänge $\lambda = 1070 \text{ nm}$) erhitzt. Dabei erlaubt der Faserlaser einen lokal exakt positionierbaren sowie sehr fein einstell- und regelbaren Wärmeeintrag. Zudem gewährleistet die zweidimensionale und hochfrequente Strahlenauslenkung mittels Scanneroptik eine gleichmäßige Erwärmung des Kunststoffs. Besondere Bedeutung kommt dabei der Erwärmungstemperatur zu, die sich für die darauffolgende Umformung zwischen Schmelz- und Zersetzungstemperatur des Kunststoffs befinden muss. Eine Umformung des erwärmten Kunststoffstegs in die gewünschte Geometrie mit einem geeigneten Umformwerkzeug erzeugt letztendlich einen stabilen Formschluss in alle 3 Raumrichtungen (Abb. 2).



2



ERGEBNISSE

Um den faserverstärkten Kunststoffsteg sowohl in Dickenrichtung als auch über die Länge und Höhe möglichst homogen aufzuschmelzen und der geringen Wärmeleitfähigkeit des Kunststoffs Rechnung zu tragen, ist eine entsprechende Erwärmungsdauer notwendig. Diese Erwärmungszeit variiert je nach Materialauswahl (PP, PA, PE etc.), Materialdicke und Erwärmungskonzept (ein- oder beidseitige Stegerwärmung).

Für die Stegumformung haben sich Rollenwerkzeuge als besonders geeignet erwiesen, weil damit eine Faserschädigung aufgrund geringer Biegeradien während der Umformung weitestgehend vermieden werden kann. Beispielsweise erzeugen die Nut-Rollenwerkzeuge (Abb. 3) nietähnliche Querschnittsgeometrien aus den aufgeschmolzenen Stegüberständen (Abb. 4), welche sowohl sehr gut reproduzierbar sind als auch hervorragende Verbindungseigenschaften versprechen.

Querschnittsaufnahmen zweier umgeformter Faserverbundkunststoffstege



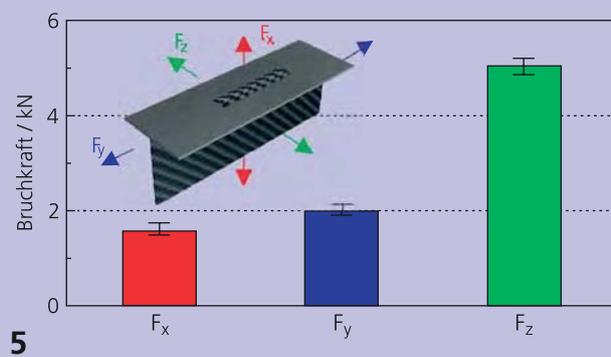
4

Zur Festigkeitsbewertung und Analyse des Schadensverhaltens wurden die Hybridverbindungen in drei Belastungsrichtungen mechanisch geprüft. Die größten Bruchkräfte der Hybridverbindung können in Scherzugrichtung quer zum Steg aufgenommen werden (in Abb. 5: Z-Richtung), was für die konstruktive Auslegung von Bauteilen mit diesen Mischverbindungen ausschlaggebend ist.

Für die Verbindung eines Stahl-Schlitzblechs (S355; 1,5 mm dick) mit einem glasfasergewebeverstärkten Kunststoffsteg

(E-Glas / PA6; 2 mm dick) und der nietähnlichen Umformgeometrie aus Abbildung 4 (rechts) haben sich die in Abbildung 5 gezeigten Bruchkräfte für eine Steglänge von 20 mm ergeben.

Bruchkräfte in 3 Belastungsrichtungen einer Steg-Schlitz-Verbindung mit der Materialkombination Stahl-GFK



5

Um die adhäsive Anbindung und die Dichtheit zwischen dem Kunststoff und dem Metallblech zu verbessern, werden im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten am Fraunhofer IWS Dresden Untersuchungen durchgeführt. So lassen sich beispielsweise durch Vorbehandlung mittels Laserstrukturierungen auf dem metallischen Fügepartner wesentlich größere Zugscherkräfte übertragen.

Die Arbeiten erfolgten im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojekts »LaserLeichter« (13N12878).

- 1 Metall-Faserkunststoffverbund = Hybridverbindung
- 3 Nut-Rollenwerkzeug zur Umformung nietähnlicher Geometrien

KONTAKT

Dipl.-Ing. Frieder Zimmermann

+49 351 83391-3063

frieder.zimmermann@iws.fraunhofer.de





GROSSE FLÄCHEN EFFIZIENT MIT LASER- UND PLASMATECHNOLOGIE BEARBEITEN

DIE AUFGABE

Effiziente Leichtbaulösungen erfordern im Bereich Automotive und Luftfahrt flexible Herstellungs- und Bearbeitungstechnologien für blechförmige Halbzeuge aus unterschiedlichen Werkstoffen. Gefragt sind neue und flexible Anlagenkonzepte für die Kombination unterschiedlicher Bearbeitungstechnologien wie Schweißen, Schneiden, Abtragen und Strukturieren. Diese Prozesse und Verfahren sollen zugleich für Metalle, Kunststoffe und Textilien anwendbar sein. Unter diesen Bedingungen sind Laser-Remote-Bearbeitungsverfahren mit auf den Werkstoff angepassten Strahlquellen ein erfolversprechender Lösungsansatz.

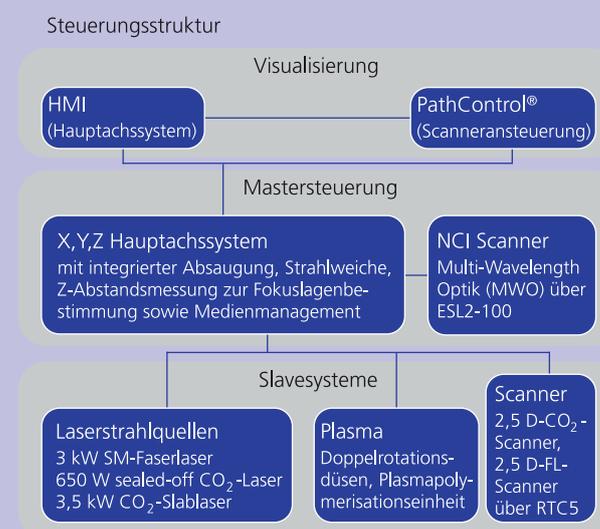
Hochbrillante kontinuierlich strahlende Laser verschiedener Wellenlängen eröffnen für Remote-Anwendungen neue Möglichkeiten. Die Arbeitsfelder der zur Strahlableitung eingesetzten Scanner limitieren derzeit aber die Anwendungen. Arbeitsfeldererweiterungen lassen sich durch die Kombination von Scanner und kartesischen Bewegungssystemen realisieren. Die zweidimensionale on-the-fly Kopplung von Scanner und Achssystem belegt das Potenzial der optimierten Achsüberlagerung bereits in der Praxis. Die Kombination von Großfeld-Scannern mit hochdynamischen Spindelantrieben verspricht gute Fertigungspräzision bei gleichzeitig hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten.

Die system- und verfahrenstechnischen Potenziale dieser Arbeitsfeldererweiterungen will das Fraunhofer IWS industriellen Interessenten zugänglich machen und entwickelt mit Partnern aus der Industrie eine multifunktionale Prototypanlage für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung von ebenen, mäßig geformten, blechförmigen und textilen Halbzeugen.

UNSERE LÖSUNG

Das Anlagenkonzept basiert auf einer Einständerbauweise mit verfahrbarem Z-Achsträger, der eine Optikplattform trägt (Abb. 1). Die Scannereinheit steht im Prozess fest und ist mit einer hochdynamischen XY-Verfahreinheit zur on-the-fly Materialbearbeitung gekoppelt. Hinzu kommen unterschiedliche Laserstrahlquellen und Equipment für die Plasmabehandlung bei Atmosphärendruck. Um die sichere Bearbeitung von Faserverbundwerkstoffen wie CFK zu gewährleisten, sind sowohl die Laser als auch die elektrischen Komponenten des Maschinenachssystems staubdicht gekapselt. Eine an den Arbeitsabstand anpassbare Absaugkammer entfernt die Abprodukte effizient aus dem Arbeitsraum, welche dann durch spezielle Filtertechnik abgeschieden werden.

Flexibel erweiterbare Steuerungsstruktur der Multi-Remote-Anlage (auf Basis Beckhoff-SPS und PLC)



2



Für die hochdynamische Ansteuerung der Antriebseinheit und die Kopplung mit den Scannersystemen wurde eine flexible Steuerungsstruktur konzipiert, die eine bedienerfreundliche Programmierung aller Komponenten sowie die Einbindung von Sensoreinheiten ermöglicht (Abb. 2). Die Details der funktionellen Komponenten sind in Abbildung 3 zusammengefasst.

ERGEBNISSE

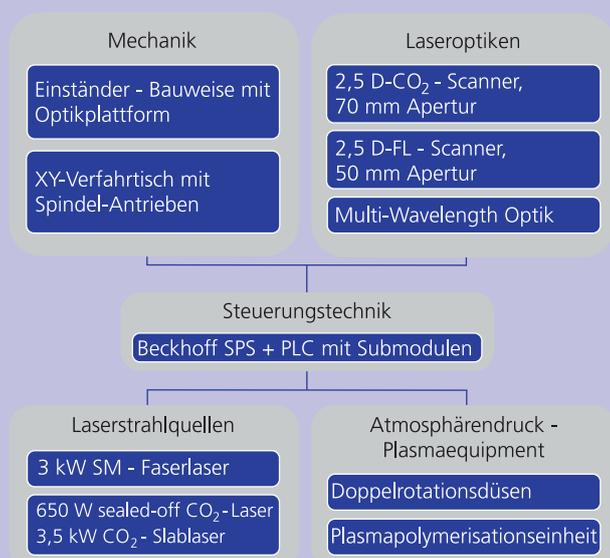
Die mit der Prototypenanlage abbildbaren Laser-Remote-Prozesse werden im Multimaterial-Leichtbau beim thermischen Direktfügen von Metall mit thermoplastischen Faserkunststoffverbunden vorteilhaft eingesetzt. So ermöglicht die Laser-Makrostrukturierung mit einem Faserlaser eine flexible Vorbehandlung der metallischen Fügepartner. Im eigentlichen Fügenschritt werden die im Überlapp zueinander fixierten Teile durch eine rückseitige laserinduzierte Aufheizung des metallischen Fügepartners und darauf folgende Wärmeleitung in die Grenzfläche Metall-Thermoplast stoffschlüssig verbunden.

Sollen Hybridlaminat aus Metall mit Thermoplasten oder Organoblechen im kontinuierlichen Prozess hergestellt werden, so erfolgt die Lasererwärmung direkt im Fügeseit zwischen beiden Halbzeugen. Der lokal aufgeschmolzene Thermoplast wird durch ein Walzenpaar flächig mit dem Metall verbunden (Abb. 4). Durch den Einsatz der Remote-Technologie mit integrierter scannerpositionsabhängiger Laserleistungssteuerung können bis zu 0,5 m breite Halbzeuge gefügt werden.

Ein weiteres Einsatzgebiet der Anlagentechnik ist die flächige Vorbehandlung vor dem Kleben. Verbundbleche aus GLARE®, ein Multilagenaufbau aus Aluminium-Folien und glasfaserverstärkten Harzschichten, gelten in der Luftfahrt als Alternative zu reinen Aluminiumlegierungen. Die einige Zehntelmillimeter starken metallischen Einzellagen werden konventionell durch chemische Badprozesse beidseitig vorbehandelt und dann mit den Glasfasergelegen bzw. -geweben verklebt. Wird anstelle der chemischen Verfahren eine Laservorbehandlung durchgeführt, die sowohl die Oberfläche vergrößert als auch ein verstärktes Oxidschichtwachstum ermöglicht, können vergleichbare Klebfestigkeiten erzielt werden. Die Laser-Remotebearbeitung ist somit eine Möglichkeit zur Substitution der chemischen Vorbehandlung und kann einen großen Beitrag zur Ressourceneffizienz und zum Umweltschutz leisten.

- 1 Multifunktionale Remote-Anlage am Fraunhofer IWS
- 4 Versuchsaufbau zum kontinuierlichen Fügen von Metall und Organoblech

Übersicht der Systemkomponenten der Multi-Remote-Anlage zur großflächigen Laser- und Plasmabehandlung



3

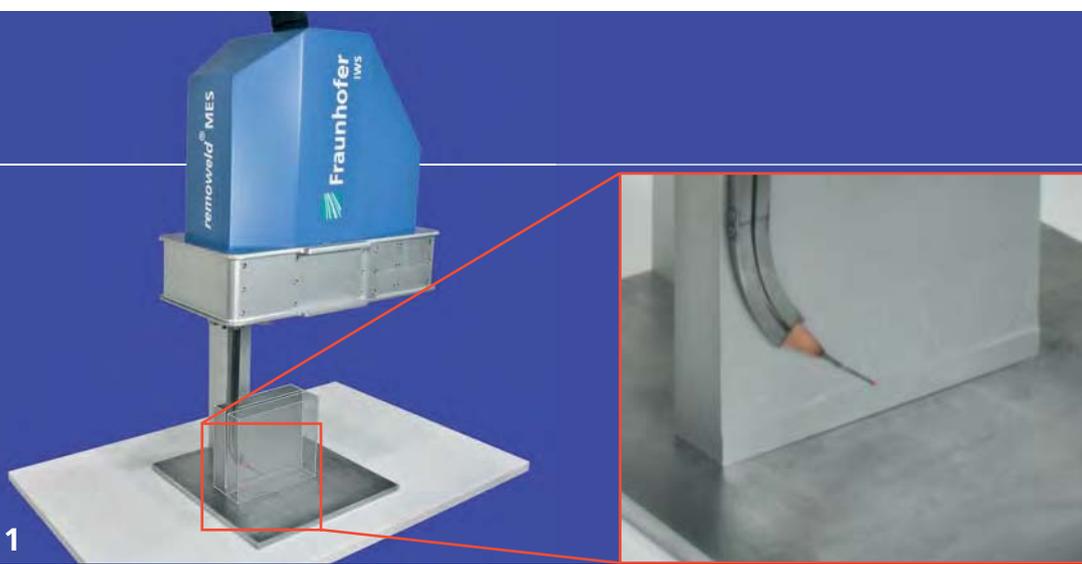
KONTAKT

Dipl.-Ing. Annett Klotzbach

+49 351 83391-3235

annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de





FÜGEN VON NICKELSUPERLEGIERUNGEN MIT LASER-MEHRLAGEN-ENGSTSPALTSCHWEISSEN

DIE AUFGABE

Zur Schonung von Umwelt und Ressourcen ist die Energie- wende hin zu erneuerbaren Energiequellen zweifelsfrei ohne Alternative. Der Betrieb von leistungsstarken und hocheffizien- ten thermischen Kraftwerken wird jedoch zur Absicherung der Grundversorgung auch zukünftig von entscheidender Bedeutung für die Energieerzeugung sein.

Nickel- superlegierungen eröffnen den international tätigen Kraftwerksherstellern die Möglichkeit, bestehende und neu zu planende thermische Kraftwerke durch eine Steigerung der Dampftemperatur auf 700 °C in ihrem Wirkungsgrad auf bis zu 50 Prozent zu steigern und damit deutlich effizienter zu machen. Ein geeigneter Werkstoffkandidat für den Einsatz im sogenannten 700 °C-Kraftwerk ist die Nickel- superlegierung Alloy 617oc. Das Fügen von dickwandigen Bauteilen aus Nickel- superlegierungen und speziell Alloy 617oc im Bereich der Hochtemperatur- Prozesse stellt jedoch eine große Herausforderung dar. Konventionelle Schweißverfahren können die heißrissempfindlichen Legierungen in ihren Hochtemperatur- eigenschaften (u. a. Kriech- und Zeitstandfestigkeit) durch eine unzulässig hohe Wärmeeinbringung nachhaltig schädigen.

Um den aktuellen Werkstoffentwicklungen gerecht zu werden und das große Wertschöpfungspotenzial bei der Herstellung von dickwandigen Bauteilen (> 30 mm) aus Nickel- basislegierungen in Deutschland attraktiv zu halten, arbeitet das Fraunhofer IWS Dresden an der Entwicklung eines laserbasierten Schweißverfahrens zum schädigungsarmen und heißrissefreien Fügen von Nickel- superlegierungen, dem Laser- Mehrlagen- Engstspalt- Schweißen (Laser- MES).

UNSERE LÖSUNG

Das am Fraunhofer IWS entwickelte Laser- MES besitzt durch seine Verfahrensspezifika großes Potenzial zum Fügen von Nickel- superlegierungen. Das Verfahren zeichnet sich allgemein durch sehr geringe Streckenenergien und damit einhergehend minimalen Winkelverzügen sowie thermischen Schädigungen des Grundwerkstoffes der zu fügenden Bauteile aus. Dank der extrem schlanken Nahtvorbereitung mit Spaltbreiten von 2 bis 3 mm und einem minimalen Flankenöffnungswinkel von kleiner 2 Grad ist zudem der Verbrauch von Schweißzusatzwerkstoff drastisch reduziert.

Die Schweißverfahrensentwicklung erfolgte mit Hilfe des *remoweld*[®] MES Schweißkopf- Prototypen (Abb. 1). Der modulare Aufbau des Schweißkopfes erlaubt eine flexible Anpassung des optischen Aufbaus an die zu schweißenden Werkstoffe und deren spezifische Eigenschaften. Die optische und mechanische Konstruktion wurde so gestaltet, dass perspektivisch Bauteile mit bis zu 250 mm Wandstärken schweißbar sind.

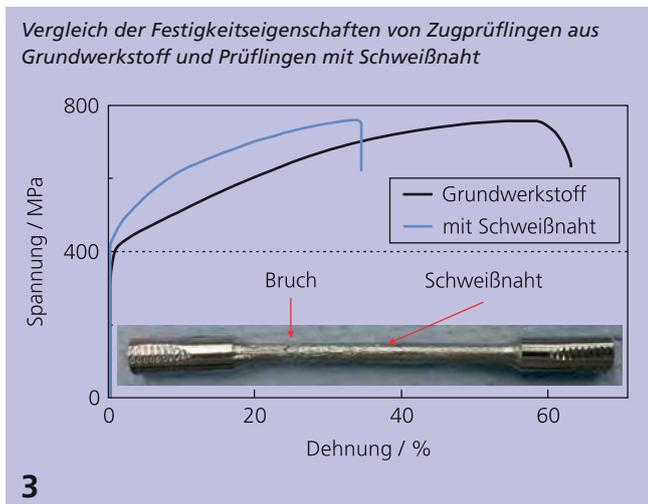
Bei der Schweißprozessentwicklung wurde konsequent auf die Wirtschaftlichkeit der Verfahrensanwendung gesetzt. Das Fügen von Nickel- superlegierungen erfolgt daher unter Verwendung von hochbrillanten Faserlaserstrahlquellen im Leistungsbereich bis 5 kW. Vorteilhaft an diesen sind die niedrigen Investitions- hürden für Anlagenhersteller. Zudem ermöglichen sie aufgrund ihres geringen Strahlparameterproduktes äußerst geringe Spalt- abmessungen beim Schweißen.



ERGEBNISSE

Die im Labor durchgeführten Schweißversuche an bauteil-ähnlichen Rundproben aus Alloy 617oc im lösungsgeglühten Zustand (Abb. 2) haben gezeigt, dass riss- und bindefehlerfreie Schweißnähte mit Hilfe des Laser-MES und der Verwendung eines artgleichen Zusatzwerkstoffes erzeugt werden können (Abb. 4). Der Einsatz der hochfrequenten Strahloszillation reduziert die Porenhäufigkeit auf ein Minimum und gewährleistet das sichere Abschmelzen des Schweißzusatzwerkstoffes. Im Ergebnis entstehen quasi flankenparallele Schweißnähte mit einem homogenen Nahtaufbau.

Untersuchungen der mechanischen Schweißnahtfestigkeitswerte quer zur Schweißrichtung zeigen im Vergleich zum Grundwerkstoff höhere Werte bei der Streckgrenze und gleiche Zugfestigkeitswerte (Abb. 3). Die Proben mit Schweißgut versagten durchgehend im Grundwerkstoff und nicht im Schweißgut oder in der Wärmeeinflusszone. Im Schweißgut war kein Legierungselementabbau feststellbar.



Nächstes Projektziel ist es, die Schweißnahttiefe in weiteren Etappen über 100 mm auf bis zu 200 mm zu steigern. Begleitet werden diese Forschungsarbeiten durch die Ermittlung der Kriech- und Ermüdungseigenschaften der erzeugten Schweißungen und der Entwicklung und Implementierung einer inlinetfähigen zerstörungsfreien Prüfung.

Die vorgestellten Ergebnisse sind im Rahmen der wissenschaftsorientierten, strategischen Allianz des Fraunhofer IWS, des Fraunhofer IWM und des Fraunhofer IKTS entstanden und beinhalten Auszüge aus dem Projekt »Laser-Mehrlagen-Engstspaltschweißen für Schlüsselkomponenten zukünftiger energieeffizienter und ressourcensparender Hochtemperatur-Prozesse«, gefördert im Rahmen der internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft.

- 1 Prototyp-Schweißkopf remoweld®MES
- 2 Bauteilähnliche Rundprobe mit 50 mm Wandstärke
- 4 Lichtmikroskopische Detailaufnahme des Lagenaufbaus einer Schweißnaht aus Alloy 617oc

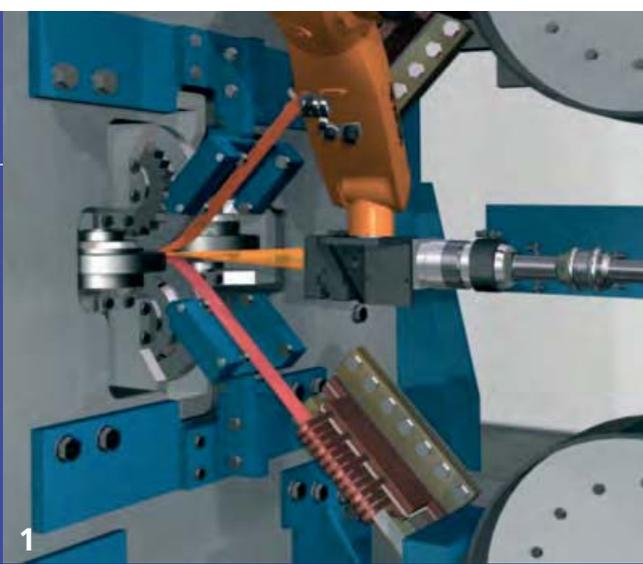
KONTAKT

Dipl.-Ing. Benjamin Kessler

+49 351 83391-3435

benjamin.kessler@iws.fraunhofer.de





WERKSTOFFTECHNISCHE STUDIEN ZUR HERSTELLUNG VON AL-CU-ZELLVERBINDERN

DIE AUFGABE

Ein wesentlicher Bestandteil der Elektromobilität sind Energiespeicher, die in hohen Stückzahlen zu niedrigen Preisen auf den Markt gebracht werden müssen. Ein wesentlicher Kernprozess beim Aufbau von Batteriemodulen aus einzelnen Batteriezellen ist die Verschaltung der Zellen mittels sogenannter Hochstromzellverbinder. Bisher wurde dies über ein mechanisches Verschrauben, mit all seinen Nachteilen in Bezug auf Kosten und Zuverlässigkeit über die Lebensdauer, realisiert. Ziel des Verbundprojektes »BatCon« war es, in einer ganzheitlichen Betrachtung funktionsintegrierte Hochstromverbinder für Batteriemodule mittels kostenoptimierter Fertigungstechnologien zu entwickeln, um Schraublösungen zu ersetzen.

Beim Einsatz thermischer Fügeverfahren stellt die begrenzte Löslichkeit der betreffenden Metalle untereinander (Al, Cu) im festen Zustand mit der Neigung zur Ausbildung spröder, intermetallischer Phasen die größte Herausforderung dar. Aufgrund der Bildung der spröden intermetallischen Phasen war zu Projektbeginn das Herstellen einer schmelzgeschweißten Verbindung zwischen Aluminium und Kupfer nicht Stand der Technik. Die Aufgabe des Vorhabens bestand deshalb darin, die werkstoff- und verfahrenstechnischen Grundlagen zum Fügen von Aluminium mit Kupfer und die Entwicklung neuer Fügeverfahren für die Fertigung von Halbzeugen für funktions- und kosten-optimierte Zellverbinder zu schaffen.

UNSERE LÖSUNG

Durch die Nutzung des IWS Know-hows zum Fügen nicht oder nur bedingt schmelzschweißbarer Materialien bzw. Materialverbunde wurden die innovativen Sonderfügeverfahren Laserinduktionswalzplattieren (vgl. auch S. 64/65) und Rührreibschweißen

so weiterentwickelt, dass damit Al-Cu-Zellverbinder als Halbzeug reproduzierbar und effizient unter Berücksichtigung der Funktionsanforderungen hergestellt werden können.

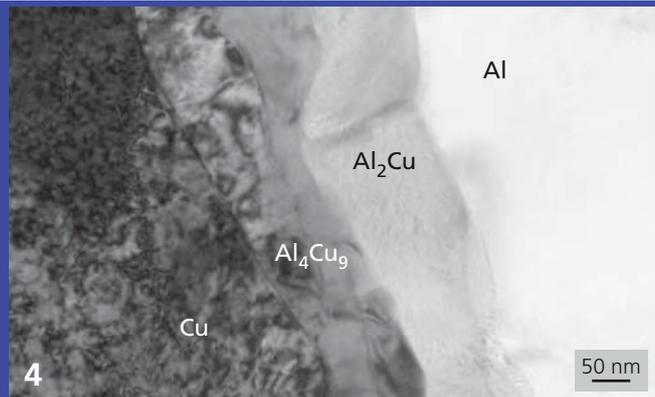
Eine weitere innerhalb des Vorhabens genutzte Kernkompetenz ist die prozessbegleitende Werkstoffentwicklung und Charakterisierung sowie die mechanische Werkstoffprüfung, die innerhalb des Projektes u. a. zur Aufklärung der vorherrschenden Fügemechanismen und zur Prüfung der Zuverlässigkeit der Fügeverbindungen genutzt wurde.

ERGEBNISSE

Der Schwerpunkt des ersten Projektabschnitts bestand in der Durchführung einer Konzeptbetrachtung von Fügeverfahren zur Herstellung eines bi-metallischen Al-Cu-Verbundes zur Halbzeugfertigung. In diesen Konzeptvergleich wurden die Verfahren Laserstrahlschweißen, Rührreibschweißen und Laserinduktionswalzplattieren einbezogen.

Aus werkstofftechnischer Sicht können die Verfahren des Rührreibschweißens und Laserinduktionswalzplattierens als sehr gut geeignet für das Fügen von Al- und Cu-Blechen eingestuft werden, da sie einen dünnen kontinuierlichen Phasensaum, eine gute Anbindung und geringe Übergangswiderstände garantieren. Verfahrensbedingt fallen beim Rührreibschweißen die Anbindungsflächen deutlich geringer aus, als beim Laserinduktionswalzplattieren. Dies kann insbesondere bei zyklischer Belastung zu geringen Festigkeiten führen.

Aufgrund seiner sehr hohen Produktivität ist das Laserinduktionswalzplattieren für sehr große Stückzahlen, trotz der hohen Investitionskosten, das mit Abstand wirtschaftlichste Verfahren. Da das Laserinduktionswalzplattieren bisher nur in vollständiger



Überdeckung der zu fügenden Bänder erfolgte, wurde ein Anlagekonzept für die angestrebte teilweise Überlappung der Bänder erarbeitet (Abb. 1, 2). Das Ziel bestand darin, den in Abbildung 3 dargestellten Al-Cu-Zellverbinder mit asymmetrischer Lage der Verbindungszone herzustellen.

Die Realisierung dieser für das Laserinduktionswalzplattieren komplexen und neuartigen Lösung beinhaltete die Konstruktion, die Fertigung und den Einsatz von speziellen Kaliberwalzen, die Integration eines Diodenlasers mit speziellen Linienoptiken sowie umfangreiche Entwicklungsarbeiten zum Erzielen der erforderlichen Geschwindigkeit, Qualität und Stabilität des Fügeprozesses. Im Projekt konnte die Machbarkeit der Halbzeugfertigung bimettallischer Al-Cu-Zellverbinder demonstriert werden.

Im Vergleich zum Stand der Technik, dem Verschrauben der Zellverbinder, können durch Verschweißen der mittels Laserinduktionswalzplattieren gefertigten Zellverbinder folgende Vorteile realisiert werden:

- höherer Automatisierungsgrad mit deutlich geringeren Produktionskosten,
- deutlich reduzierte Übergangswiderstände und damit geringere elektrische Verluste,
- eine verbesserte Langzeitstabilität und mechanische Belastbarkeit sowie
- ein geringeres Gewicht und mehr Gestaltungsfreiheit zur Reduzierung des Bauraumes.

Des Weiteren wurden umfangreiche vergleichende Strukturanalysen an den mit unterschiedlichen Fügeverfahren angefertigten Al-Cu-Verbindungen durchgeführt. Dabei wurden neben dem Rührreißschweißen und Laserinduktionswalzplattieren auch die von den Projektpartnern entwickelten Verfahren Laserstrahlschweißen, Ultraschallschweißen und Elektromagnetisches Pulsfügen in die Untersuchungen mit einbezogen. Charakteristisch für alle Fügeverfahren ist die Bildung der beiden intermetallischen Phasen Al_4Cu_9 und Al_2Cu in der Verbindungs- bzw. Durchmischungszone (Abb. 4).

Beim Laserstrahlschweißen lässt sich die Dicke der sich bildenden intermetallischen Vermischungszone nur auf etwa 10 μm verringern, was eine verhältnismäßig starke Versprödung und damit Riss- und Bruchgefahr zur Folge hat. Tendenziell ist Laserstrahlschweißen bei dieser Werkstoffkombination besser für dünne Folien (Dicke < 1 mm) als für steifere Bleche geeignet. Dagegen lässt sich mit den anderen untersuchten Verfahren die Phasensaumdicke auf ein für die elektrischen Eigenschaften und die mechanische Belastbarkeit unkritisches Maß von etwa 1 μm begrenzen. Diese Phasensäume erfahren auch bei einsatzrelevanten Maximaltemperaturen von 100 °C bei mehr als 500 h keine Alterungserscheinungen.

Die im Zeitraum von 2013 bis 2015 durchgeführten Forschungsarbeiten wurden vom BMWi im Rahmen der Förderinitiative Elektro Power innerhalb des Projektes BatCon gefördert (FKZ 0101X12055C).

- 1 *Verfahrensprinzip Laserinduktionswalzplattieren (mit Laserstrahl (Mitte) und den in die Walzen einlaufenden Al- und Cu-Bändern)*
- 2 *Detail Walzgerüst*
- 3 *Mittels Laser aufgeschweißte Al-Cu-Zellverbinder*
- 4 *TEM-Aufnahme: Phasensaum*

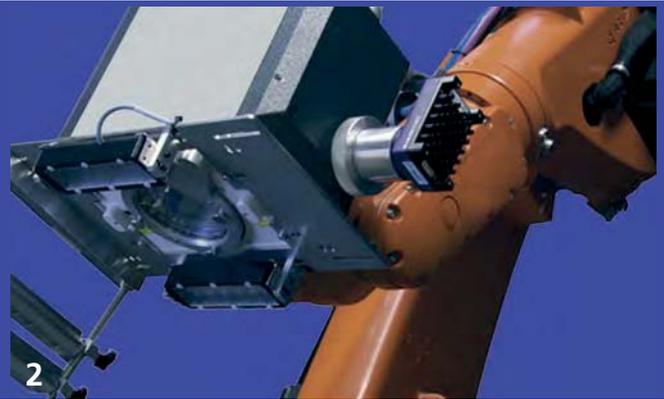
KONTAKT

Dr. Jörg Kaspar

+49 351 83391-3216

joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de



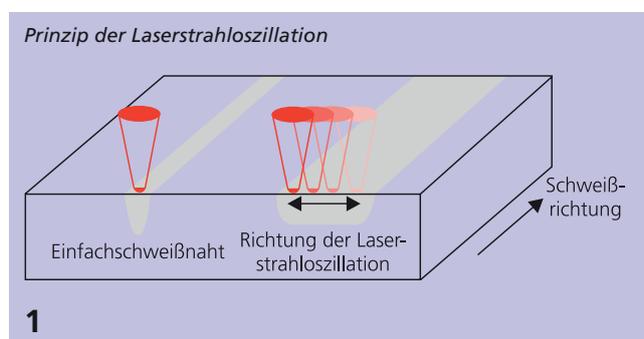


VERBESSERUNG DER FÜGEVERBINDUNG DURCH LASERSTRAHLLÖTEN MIT STRAHLOSZILLATION

DIE AUFGABE

Das Fügen mit dem Laserstrahl steht weiterhin im Interesse der Automobilhersteller und setzt Impulse für die Verbindung von leichten Materialien wie Aluminium, hochfesten Stählen und Mischverbindungen. Eine Vielzahl von Baugruppen, einschließlich Türen, Heckklappen und andere Karosserieblechteile können unter Verwendung des Laserprozesses verbunden werden. Vorteil des Lasers ist die geringe Schmelzbadausdehnung, was meist zu verringertem Verzug führt.

Wird der Laserstrahl beim Schweißen oder Hartlöten oszilliert (Abb. 1), bietet sich häufig Verbesserungspotenzial in Bezug auf die Nahtqualität. Mit Hilfe eines Hochgeschwindigkeitskamerasystems für die Prozessbeobachtung kann ein verbessertes Verständnis und eine Optimierung des Verfahrens erreicht werden.



der Laserstrahl manipuliert (Abb. 2). Basierend auf typischen Anforderungen aus dem Bereich Karosseriebau wurden zwei verschiedene Arten von Nahtstellen untersucht. Zinkbeschichteter Stahl (Dualphasenstahl) und Aluminiumbleche aus AlMgSi-Legierung (6000er Serie) mit einer Dicke zwischen 1,2 mm und 1,5 mm (Abb. 3) wurden für die Entwicklung verwendet. Verschiedene Aluminiumlegierungen in Drahtform wurden als Füllmaterial zugeführt, um fehlerfreie Hartlötverbindungen zu erzielen. Die Echtzeit-Prozessvisualisierung und -überwachung erfolgte mit einem am Fraunhofer CLA entwickelten Hochgeschwindigkeitskamerasystem (Abb. 4).

Um den Einfluss von Drahtpositionierung und -ausrichtung sowie der wichtigsten Prozessparameter zu verstehen, wurde ein spezielles Versuchsprogramm entwickelt und abgearbeitet. Es wurden Lötversuche sowohl ohne als auch mit Laserstrahloszillation sowie mit unterschiedlichen Oszillationsmustern durchgeführt und anschließend mikroskopisch charakterisiert. Während der Versuche wurden sowohl die Bild- als auch die Videodaten des Prozesses erfasst und mit einer Hochgeschwindigkeitskamera-Software verarbeitet.

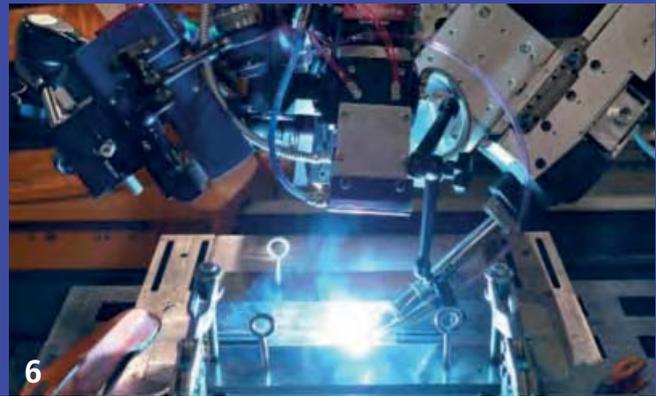
UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer Center for Laser Applications CLA in Plymouth, Michigan, USA, wurde ein Laserlötverfahren für Aluminium-Aluminium- und Stahl-Aluminium-Verbindungen entwickelt und dafür mit einem hochleistungsfähigen 3D-Galvo-Scanner





4

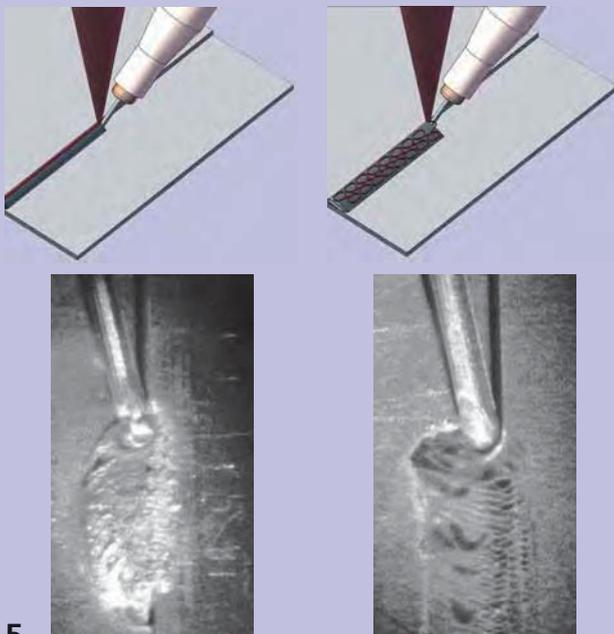


6

ERGEBNISSE

Beim Laserlöten mit oszillierendem Strahl werden eine höhere Qualität und breitere Lötverbindungen erzielt ohne ein wesentlich stärkeres Schmelzen des Basismaterials und ohne zusätzlichen Draht. Die Ergebnisse zeigen, dass die horizontale Strahlschwingung senkrecht zur Vorschubrichtung (Abb. 5 rechts) das günstigste Hartlötprofil ergab. Zudem kann das Hartlötprofil durch Überwachung des Prozesses und Aufrechterhalten einer gleichbleibenden Drahtzuführposition in Bezug auf die Laserstrahlschwingung und die Nahtposition gut gesteuert werden.

Hochgeschwindigkeitskameraaufnahmen des Laserlötprozesses ohne (links) und mit Strahloszillation (rechts)

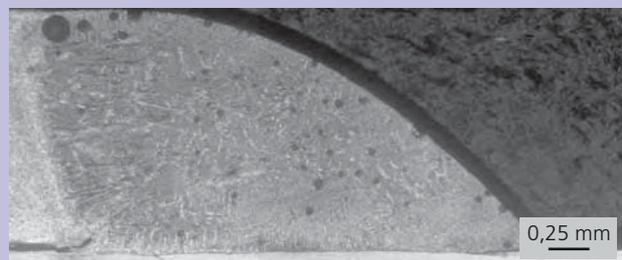


5

Mit dem Hochgeschwindigkeitskamerasystem verbessert sich die Überwachung der Drahtposition und der Schweißnaht deutlich, die Prozessentwicklung und Optimierung des Lötprozesses vereinfacht sich (Abb. 6).

Für die Aluminium-Aluminium-Verbindung wurde festgestellt, dass sich die Lage des Lötdrahtes entweder an der Naht oder an einer von der Naht entfernten Stelle des unteren Basismaterials befinden kann. Dennoch kommt es zu einem kontrollierten Aufschmelzen des Drahtes und zu einem minimalen Einfluss auf das Substratmaterial (Abb. 7).

Querschnitt einer Aluminium-Stahl-Lötverbindung hergestellt mit Strahloszillation und Aluminiumfülldraht



7

- 2 Scannersystem zur Laserstrahloszillation
- 4 Prozess-Monitoring-System des Fraunhofer CLA
- 6 Lötprozess mit Prozessüberwachung

Die durch Laserlöten mit Strahloszillation erzeugten Stahl-Aluminium-Verbindungen zeigen höhere Festigkeits- und Zähigkeitswerte als Lötverbindungen ohne Strahloszillation. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass die Wärmezufuhr zum Stahlblech besser kontrolliert wird und die Bildung spröder intermetallischer Phasen mit der Strahlschwingung minimiert wird.

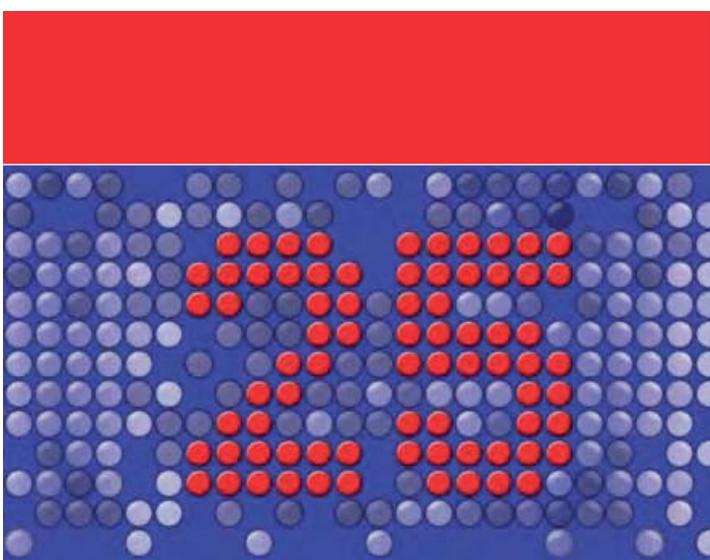
KONTAKT

Craig Bratt

+1 734 738 0550

cbratt@fraunhofer.org





FÜGEN IM FLUGZEUGBAU – MEHR EFFIZIENZ DURCH LEICHTBAU



DR. JENS HACKIUS

Fuselage Structure Research&Technology
Architecture&Integration
Centre of Competence Structure
Airbus



DR. JENS STANDFUSS

Geschäftsfeldleiter Fügen
Fraunhofer IWS Dresden

Redaktion: Herr Dr. Hackius, die Luftfahrtindustrie ist bekannt für kontinuierliches Innovationsmanagement. Welche Forschungsthemen ist Airbus mit dem IWS angegangen und warum haben Sie sich für die Dresdner entschieden?

Dr. Hackius: Die Zusammenarbeit mit dem IWS ist maßgeblich auf die Initiative von Herrn Prof. Berndt Brenner (IWS) zurückzuführen. Als Abteilungsleiter des Gebietes Fügen trat er im Rahmen eines Kolloquiums mit zahlreichen Ideen zur Verbesserung der Fertigungstechnologie in der Luftfahrt an Herrn Brenneis (Airbus) heran. Airbus war gerade auf der Suche nach einem Entwicklungspartner, um die Serieneinführung des Laserstrahlschweißens für Stringer-Haut-Verbindungen im Fertigungswerk Nordenham zu begleiten. Das tiefe werkstofftechnische Verständnis, der fertigungstechnische Background und die Anlagenkonzepte für das Laserstrahlschweißen überzeugten die Kollegen bei Airbus. Sie halfen kurzfristig mit einem Laser aus und starteten die ersten Versuchsserien in Dresden. Die Ergebnisse waren beeindruckend und der Grundstein für eine längerfristige Partnerschaft gelegt.

Redaktion: Herr Dr. Standfuß, was bedeutete dieser Schritt für das IWS?

Dr. Standfuß: Um den Anforderungen von Airbus kurz- und mittelfristig gerecht zu werden, bedurfte es schnellstmöglich einer größeren Versuchsanlage für das Laserstrahlschweißen. Das Konzept war ein Novum. Zwei Laser, Drahtzufuhr und Spannvorrichtung waren für die 3D-Bearbeitung von bis zu 10 m langen und 3 m breiten Blechen gleichzeitig anzusteuern. 26 Achsen besitzt die Anlage, die Synchronisation und Abstimmung erfordert höchste Präzision.



Aber auch die Finanzierung der Anlage stellte eine Herausforderung dar. Herr Prof. Brenner leistete viel Überzeugungsarbeit in den sächsischen Ministerien, bis im Juli 2002 schließlich die Investitionsgenehmigung für die sogenannte XXL-Anlage im IWS eintraf und der Bau beginnen konnte. Im Jahre 2004 stand sie dann einsatzbereit am IWS.

Redaktion: Welche Entwicklungsschritte hat das Fraunhofer IWS begleitet?

Dr. Hackius: Gestartet wurde mit dem Laserschweißen von Stringer-Haut-Verbindungen für neue Aluminiumlegierungen. Angesichts von mehreren Kilometern im Flugzeug verbauter Stringer, die die Hautfelder in Längsrichtung stabilisieren und Zehntausende Nietverbindungen aufweisen, wurde hier der größte Effekt im Hinblick auf Leichtbau und die Reduzierung von Fertigungskosten erwartet. Die Dresdner Forscher testeten selbst die geschweißten Bauteile, charakterisierten die Einflussgrößen auf den Schadenseintritt und schlugen in der Folge neue beanspruchungsoptimierte Stringergeometrien vor, die gemeinsam patentiert wurden. Im nächsten Projektabschnitt stand das Clip-Schweißen, also die Verbindung zwischen Längs- und Umfangverschweißung, im Mittelpunkt. Das Fraunhofer IWS entwickelte ein Konzept für automatisiertes Clip-Schweißen und setzte dieses an der XXL-Anlage um. Dabei entstand eine weitere Patentidee zur Vordeponierung von bandförmigem Zusatzwerkstoff. Letztlich folgten Untersuchungen zum Laserschweißen der Längsnaht zum Verbinden mehrerer Paneele. Auch hier hatte das IWS gute Ideen und verfolgte verschiedene Konzepte zu schadenstolerantem Design. Den Anforderungen der Bauteilprüfung hielt das lasergeschweißte Material aber nicht stand. Andere Technologiekonzepte waren gefragt.

Redaktion: Konnte das IWS weiterhelfen?

Dr. Hackius: Das IWS ließ sich von dem Fehlschlag nicht entmutigen und stieg in die Technologie des Rühr-Reibschweißens ein. Gemeinsam mit einem mittelständischen sächsischem Unternehmen überraschte uns das Institut mit einem völlig neuen, äußerst preiswerten Maschinenkonzept für das Verfahren und setzte es zielstrebig in die Praxis um. Das Parallel-Kinematik-Konzept der Fa. Metrom dient heute als Basis für die Untersuchungen zum Rühr-Reibschweißen am IWS und die Entwicklung innovativer Spannkonzepete.

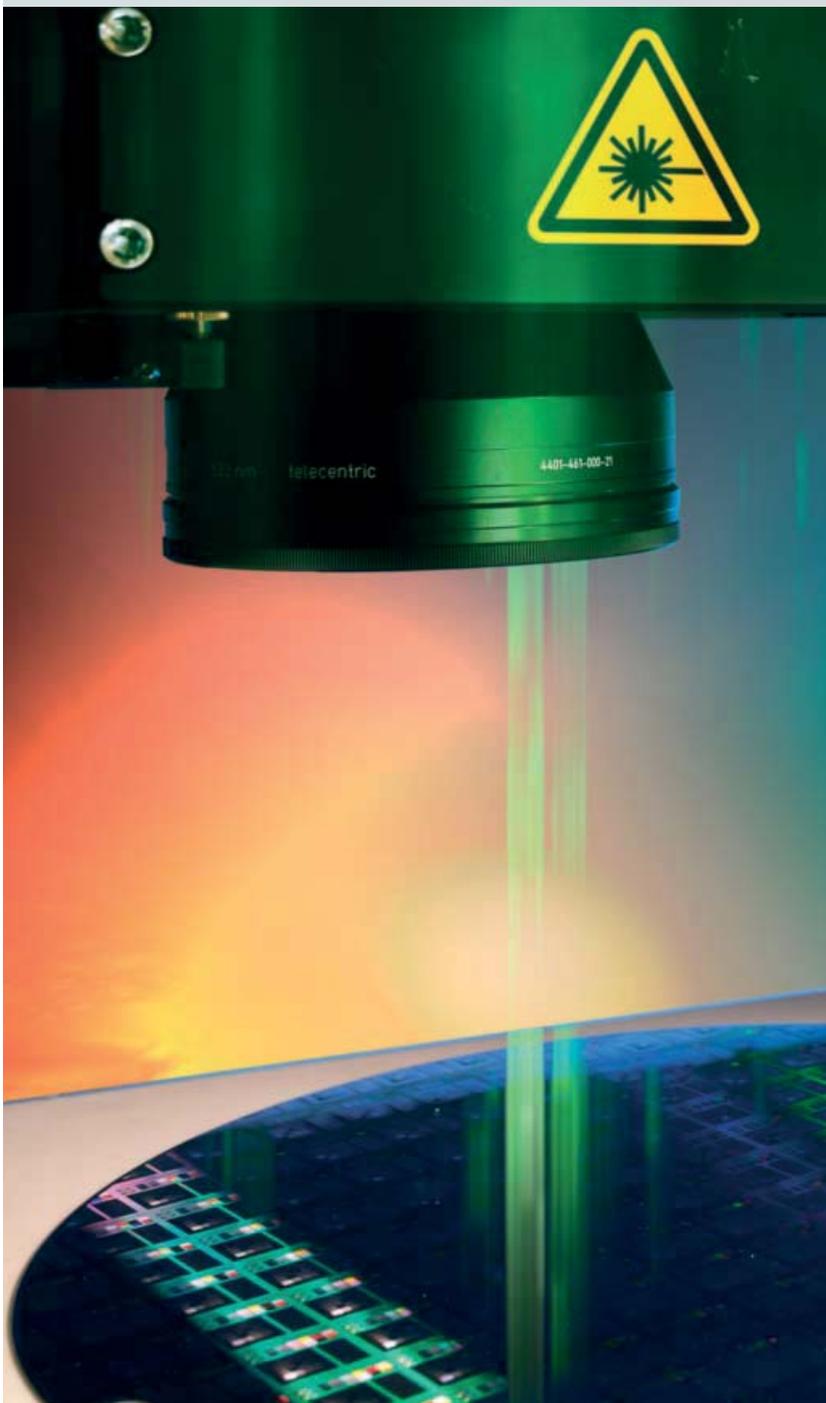
Redaktion: Was ist Ihnen an der Zusammenarbeit mit dem IWS besonders angenehm aufgefallen?

Dr. Hackius: Das IWS verfolgt immer einen systemübergreifenden Ansatz. Werkstoff, Verfahren, Anlagentechnik, Betriebsfestigkeit und Schadenstoleranz werden stets als Gesamtheit und in ihrer Abhängigkeit betrachtet. Umfangreiche Arbeitspakete werden zuverlässig und vorausschauend bearbeitet. Die gute Infrastruktur sowohl im Bereich der Laser- und Anlagen- als auch Werkstofftechnik bietet zahlreiche Möglichkeiten der Kooperation.

Redaktion: Gibt es bereits neue Entwicklungsziele?

Dr. Hackius: Das Rühr-Reibschweißen der Längsnaht wird gerade an Schalen des A320 in Originalabmessung demonstriert. Die industrielle Überführung dieser Technologie ist in der Vorbereitung. Auch neue zukunftssträchtige Werkstoffkonzepte, sogenannte Fiber-Metall-Laminates, werden bereits am Fraunhofer IWS hinsichtlich ihrer Verarbeitbarkeit geprüft. Die Lasertechnologie mit Laser-Remote-Verfahren bietet hier für Oberflächen-Vorbehandlung vor dem Kleben ein enormes Potenzial gegenüber den derzeitigen nasschemischen Prozessen im Hinblick auf Fertigungskosten und Umweltschutz.

MIKROTECHNIK



Redaktion: Herr Dr. Klotzbach, wie sehen Sie den aktuellen Markt für die Mikrotechnik?

Dr. Klotzbach: In Europa sind weiterhin die Medizintechnik und der Gesundheitsmarkt die stärksten Innovationstreiber für die Mikrotechnik. In Deutschland hat die Automobilindustrie auf der Welle elektromobiler und schadstoffarmer Antriebskonzepte der gesamten Zulieferbranche einen Innovationsschub verliehen, der sich verstärkt in mikrotechnischen Entwicklungen manifestiert. Diese breitgefächerten Nachfragen können wir sowohl verfahrenstechnologisch über die Mikromaterialbearbeitung, als auch systemtechnisch mit Komplettlösungen beantworten.

Redaktion: Welche Chancen hat das IWS in diesem Umfeld der Mikrotechnik?

Dr. Klotzbach: Wir haben rechtzeitig über den Einsatz des Lasers als hervorragendes Werkzeug für die Mikrotechnik nachgedacht. Seine Materialelektivität und die präzise Steuerbarkeit brachten erhebliche Fortschritte beim maßgeschneiderten Herstellen von mikrofluidischen Strukturen und in Folge dessen von mikrophysiologischen Systemen für die unterschiedlichsten Anwendungen. Schwerpunkt sind Systeme mit integrierten pneumatischen Pumpen und Sensoren. In 2016 wurden neuartige mikrophysiologische Systeme mit integrierter Membrantechnologie als Zellträger für Untersuchungen von biologischen Barrieren wie z. B. in der Niere entwickelt. Dies erlaubt uns ein mikrophysiologisches »Starter Kit« für medizinische und biologische Anwendungen anzubieten.

Im Bereich der Mobilität sowie der Energiegewinnung und -speicherung werden in hohem Maße neue Werkstoffe wie Hochleistungskeramiken, faserverstärkte Kunststoffe oder

»Jeder moderne Gedanke besteht im Denken des Undenk-
baren.«

Michel Foucault



GESCHÄFTSFELDLEITER

DR. UDO KLOTZBACH

☎ +49 351 83391-3252

✉ udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de

geschichtete Materialpaarungen eingesetzt. Hier ist das Geschäftsfeld Mikrotechnik mit umfangreichem Know-how in der Ultrakurzpulslaserbearbeitung bestens aufgestellt.

Redaktion: Welche herausragenden Ergebnisse konnte Ihr Geschäftsfeld in 2016 erzielen?

Dr. Klotzbach: Die kontinuierliche Entwicklung der Technologie des Direct Laser Interference Patterning (DLIP) befähigt uns heute, große Flächen in kurzer Zeit mit funktionalen Mikrostrukturen zu versehen. Unsere neuen Optikkonzepte ermöglichen jetzt eine Oberflächenstrukturierung von 2 – 5 m² pro Minute. Da unterschiedlichste industrielle Anwendungen auch verschiedene DLIP-Optikkonzepte erfordern, haben wir für unsere Kunden die Varianten »DLIP-High-Speed«, »FlexDLIP« und »R2R-DLIP« im Angebot. Für diese Entwicklungen (Laserstrahlen stempeln Mikrostrukturen – Direct Laser Interference Patterning) hat die Gruppe um Prof. Andrés Lasagni den 2. Platz des Berthold Leibinger Innovationspreises 2016 erhalten.

Redaktion: Ihr Geschäftsfeld zeigt einen großen Anteil von interdisziplinären Ansätzen – was bedeutet dies für die unterschiedlichen Technologien?

Dr. Klotzbach: Basis unseres interdisziplinären Ansatzes ist die interne Kommunikation der Mitarbeiter; so entstehen auch technologieübergreifende Ansätze. Beispiele sind die mikrostrukturierten Oberflächen zur Reduzierung von Reibung und Verschleiß oder das Verbessern von Oberflächeneigenschaften für medizinische Implantate. Hier konnten zwei Verfahren und ihre Kombinierbarkeit in einem Prozess aufgezeigt werden. Dieser Hybridprozess ermöglicht unter Beibehaltung der einzelnen Vorteile die Herstellung mehrfach funktionaler, hierarchischer Strukturen auf der Oberfläche.



KOMPETENZEN UND ANSPRECHPARTNER



Dipl.-Ing. Volker Franke, Gruppenleiter Mikromaterialbearbeiten

☎ +49 351 83391-3254 / ✉ volker.franke@iws.fraunhofer.de

» 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 quarzitären und biokompatiblen Werkstoffen sowie das Reinigen mittels Lasertechnik. In gleichem Maße wie die Strukturierung ist die Diagnostik entscheidend für das Verständnis von Prozessen und Prozessergebnissen. Deshalb hat sich die Arbeitsgruppe auf die optische Laserprozesscharakterisierung mittels Hochgeschwindigkeitskamertechnik sowie auf die schädigungsfreie Stoffanalyse mit Terahertzstrahlung spezialisiert. «



Dr. Frank Sonntag, Gruppenleiter Mikro- und Biosystemtechnik

☎ +49 351 83391-3259 / ✉ frank.sonntag@iws.fraunhofer.de

» Die Aktivitäten im Bereich der Mikro- und Biosystemtechnik umfassen Design, Simulation, Rapid Manufacturing und Optimierung von mikrofluidischen Strukturen, Mikroreaktoren und komplexen Lab-on-a-Chip-Systemen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten basieren auf Know-how zur Realisierung

integrierter Funktionselemente wie pneumatisch und elektrisch angetriebenen Mikropumpen oder optischen und elektrischen Sensoren. Die Systeme werden mit Automatisierungskonzepten und Peripheriesystemen für Labore der Bio-Medizintechnik, bestehend aus Hard- und Software, ergänzt. Zusätzliches Know-how aus den Bereichen biokompatible Aufbau- und Verbindungstechnik, additive Herstellung von 3D-Trägerstrukturen (Scaffold) und Mikroperfusionssysteme bildet die Basis für die Entwicklung maßgeschneiderter Plattformen für Diagnostik, tierversuchsfreie Substanztestung und Tissue Engineering. «



Prof. Andrés-Fabián Lasagni, Gruppenleiter Oberflächenfunktionalisierung
☎ +49 351 83391-3007 / ✉ andres-fabian.lasagni@iws.fraunhofer.de



» Infolge von Evolutionsprozessen existieren heutzutage Strukturen auf Pflanzen- und Tieroberflächen, welche einzigartige Eigenschaften wie geringe Reibung oder antibakterielle Wirkungen bereitstellen. In Anlehnung an die biologisch gebildeten Strukturen können diese Merkmale auch auf technischen Oberflächen umgesetzt werden. Mit neuen Methoden zur Herstellung von zwei- und dreidimensionalen Mikro- und Nanostrukturen auf Polymeren, Metallen, Keramiken und Beschichtungen gelingt es, strukturierte Oberflächen zu erzeugen, welche über makroskopische Bereiche hinweg optimierte Merkmale aufweisen. Die technologische Veränderung der chemischen, optischen sowie mechanischen Eigenschaften eines Materials ermöglicht dadurch eine signifikante Weiterentwicklung von Produkten im Bereich der Biotechnologie, Photonik und Tribologie. «

BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2016

1. Reibung und Verschleiß durch mikrostrukturierte Oberflächen steuern	88
2. Scannerbasiertes direktes Laserinterferenzstrukturieren	90
3. Laserbasierte Zellmanipulation in mikrophysiologischen Systemen	92
4. Charakterisieren und Mikrostrukturieren mit Focused Ion Beam (FIB)	94
5. Messen mit Licht - multispektrale Profilometrie	96
6. Mikrosystemtechnik und Laborautomation - eine Erfolgsgeschichte	98

REIBUNG UND VERSCHLEISS DURCH MIKROSTRUKTURIERTE OBERFLÄCHEN STEUERN

DIE AUFGABE

Reibungsverluste sind Energieanteile, die beim bewegten Zusammentreffen zweier Oberflächen ungenutzt verloren gehen. Der Verschleiß an diesen Oberflächen führt dazu, dass die Lebensdauer der Bauteile oder des Gesamtsystems oft kürzer ausfällt als gewünscht. Schätzungen gehen davon aus, dass durch Reibung – und einhergehend Verschleiß – ein durchschnittlicher volkswirtschaftlicher Schaden von ca. 2 bis 7 Prozent des jährlichen Bruttoinlandsproduktes entsteht.

Werden die tribologischen, d. h. reibungs- und verschleißbezogenen Kennwerte mechanisch kommunizierender Oberflächen durch Strukturieren beeinflusst, bieten sich vor allem für ansonsten technisch bereits ausgereifte Systeme erhebliche Energie- und Materialeinsparpotenziale. Prominente Beispiele sind automobiler Anwendungen.

Die Aufgabe besteht darin, dauerbeanspruchte Antriebskomponenten, z. B. Kolbenringe, oberflächlich in mikroskopischem Maßstab zu modifizieren, ohne ihre makroskopische Funktionsfähigkeit, z. B. ihre Abdicht- und Wärmeableiteigenschaften, zu beeinträchtigen. Da sich Reibungsverhalten und Verschleiß immer wechselseitig beeinflussen, ist fast immer auch der Einfluss eines Schmiermittels zu berücksichtigen. Es gilt, in diesem Spannungsfeld eine aus Anwendersicht optimale Lösung zu erarbeiten.

UNSERE LÖSUNG

Für die Eigenschaftsmodifikation metallischer Oberflächen im Automobilbereich werden unterschiedliche Strategien verfolgt. Der partiellen Erzeugung funktionaler Strukturen durch verschiedene Laserverfahren stehen vollflächige Beschichtungen z. B. mit superharten, diamantähnlichen Schichten, gegenüber. Beide Varianten adressieren unterschiedliche Ziele. Durch das Einbringen feinsten Taschenstrukturen mit gepulsten Lasersystemen wird eine erweiterte Funktionalität erreicht. Neben der Wirkung als Reservoir für Schmiermittel kommt es zum Aufschwimmen darüber gleitender Komponenten. Das minimiert Trocken- bzw. Mischreibungsphasen und den Verschleiß. Die vollflächige Beschichtung zielt mit geringer Rauheit und Härte ebenfalls auf Verschleißminimierung ab, bietet jedoch an sich geringeren Reibwiderstand und somit Schmiermitteleinsparpotenzial.

Spannender Ansatz der Arbeiten ist deshalb die Kombination funktionaler Mikrostrukturen mit den Vorteilen einer vollflächig aufgetragenen Funktionsschicht. Diese Schichten sind häufig mit hohen Eigenspannungen und optischer Transparenz (d. h. geringer Absorption) behaftet. Um sie überhaupt, definiert und schadigungsarm bearbeiten zu können, wurden (ultra-) kurzgepulste Lasersysteme mit hochflexibler Strahlablenkung genutzt. Für jede Anwendung wurden anforderungsspezifische Bearbeitungsstrategien erarbeitet.



ERGEBNISSE

Die entwickelte Verfahrensfamilie »Lasertexturieren reibend beanspruchter, hartstoffbeschichteter Antriebskomponenten« zeichnet sich durch die konsequente Ausrichtung auf (ultra-) kurzgepulste Lasersysteme aus. Längerpulsige Laser führen typischerweise zu kaum vermeidbaren thermischen Einflüssen wie Aufwurfbildung, Aufhärten, Abplatzungen. Zudem besteht die Gefahr zu geringer Absorption. Die Nutzung (ultra-) kurzer Pulse und kürzerer als der weit verbreiteten infraroten Laserwellenlänge verbreitert das adressierbare Grund- und Schichtwerkstoffspektrum.

Die Beaufschlagung der sprödharten Materialien mit Laserpulsen von ca. 500 fs bis ca. 10 ps Dauer erzeugt Kavitäten ohne Gratbildung, mit definierter und bauteilkonstanter Tiefe geringster Toleranz (Abb. 1). Anhand des jeweiligen Einsatzzweckes werden Durchmesser und Tiefe sowie ein funktionales Layout dimensioniert. So wurden Kolbenringe mit einer ca. 2 µm dicken diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtung radial mit einem versetzten Punktraster funktionalisiert. Dabei lagen die Punktabstände zwischen ca. 50 und 150 µm, die Durchmesser bei ca. 15 bis 50 µm und die Tiefen bei ca. 2 bis 5 µm (Abb. 2 und 3). Diese Art der Laserstrukturierung bewahrt die Abdichteigenschaften der Kolbenringe und unterstützt signifikant die Reibungsminimierung durch Aufschwimmen auf einem dynamisch erzeugten Schmierfilm. Im Ergebnis wird eine Minimierung des Reibkoeffizienten um bis zu 25 Prozent erreicht.

Bei weiteren Komponenten im Automobilbereich, die keine zusätzlichen Dichtungsaufgaben erfüllen müssen, wurde durch das Einbringen einer z. B. rotationssymmetrischen Anordnung von Näpfchen bis zu ca. 1 µm Tiefe die Lebensdauer wesentlich erhöht (Abb. 1).

Der Vergleich von unstrukturierten oder konventionell strukturierten und beschichteten Bauteilen mit laserstrukturierten und beschichteten Komponenten unter Einfluss eines Schmiermittels ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe. Die Arbeiten mit (ultra-) kurzgepulsten Lasersystemen in Kombination mit hochflexiblen Strahlableinheiten zeigen jedoch, dass einsatzspezifisch angepasste, funktionale Mikrostrukturen auf hartstoffbeschichteten Komponenten einstellbare und positive Auswirkungen auf Verschleißverhalten und Reibungskenngrößen haben.

- 1 *Rotationssymmetrisch laserfunktionalisierte Oberfläche*
- 2 *Lasermikrostrukturierter, hartstoffbeschichteter Kolbenring*
- 3 *Strukturdetail »Kolbenringfunktionalisierung«*

KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kuntze

☎ +49 351 83391-3227

✉ thomas.kuntze@iws.fraunhofer.de





SCANNERBASIERTES DIREKTES LASERINTERFERENZSTRUKTURIEREN

DIE AUFGABE

Das Funktionalisieren technischer Oberflächen mit bioinspirierten Strukturen aus der Natur ist ein Innovationsträger des 21. Jahrhunderts. Die erzielbaren Funktionalitäten eignen sich u. a. für tribologische Anwendungen in der Automobilindustrie, zur Verbesserung der Biokompatibilität im medizinischen und biotechnologischen Bereich sowie für optische Anwendungen wie dem Produkt- und Markenschutz.

Etablierte Herstellungsverfahren dieser nano- und mikrometergroßen Strukturen sind dabei entweder zu kosten- und zeitintensiv (Elektronenstrahlolithographie) oder erlauben nur geringe Strukturauflösungen (direktes Laserschreiben). Am Fraunhofer IWS wird das direkte Laserinterferenzstrukturieren (engl. Direct Laser Interference Patterning - DLIP) zum Erzeugen komplexer und hochaufgelöster Strukturen mit hoher Prozessgeschwindigkeit entwickelt und an definierte industrielle Anforderungen angepasst.

UNSERE LÖSUNG

Bei direktem Laserinterferenzstrukturieren wird ein kohärenter Laserstrahl in zwei oder mehr Strahlen geteilt und auf der Bauteiloberfläche überlagert. Der aus der Überlagerung resultierende Interferenzeffekt (als periodische Modulation der Laserintensität) erlaubt das Aufbringen definierter Strukturen auf Bauteilen.

Gleichbleibende Strukturgeometrien können mit Hilfe des DLIP-Verfahrens bereits großflächig mit Flächenraten von bis zu $1 \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ hergestellt werden. Das Generieren variabler Strukturgeometrien mit hohen Prozessgeschwindigkeiten ist hingegen eine technische Herausforderung, welche die Entwicklung moderner Lösungskonzepte erfordert.

Erstmalig ist es dem Fraunhofer IWS gelungen, einen Strukturierungsprozess zu entwickeln, mit dem diese variablen Strukturen innerhalb kurzer Prozesszeiten hergestellt werden können. Die Lösung ist die Kombination eines DLIP-Bearbeitungskopfes mit einem Galvanometer-Scannersystem (Abb. 1). Das neu entwickelte DLIP-Scannersystem ist kompatibel mit den industrietauglichen μFab -Anlagen des Fraunhofer IWS (Abb. 2).

Die besondere Herausforderung lag in der Optikauslegung zur Strahlführung von mehreren Teilstrahlen durch das Galvanometer-Scannersystem sowie der Entwicklung eines ganzheitlichen Strukturierungskonzeptes. Dies wurde erfolgreich umgesetzt und ermöglicht den Einsatz von Hochleistungslasern mit Wiederholfrequenzen bis in den Megahertzbereich zur Erzeugung variabler Oberflächenstrukturen »on-the-fly«.

Neben den gesteigerten Möglichkeiten des Rapid Prototyping, der in-line Strukturierung in Rolle-zu-Rolle Prozessen sowie der Bearbeitung von 3D-Geometrien bleiben alle dem DLIP inhärenten Vorteile wie die direkte Bearbeitung von Metallen und Polymeren ohne Nutzung aufwändiger Reinraumbedingungen erhalten.

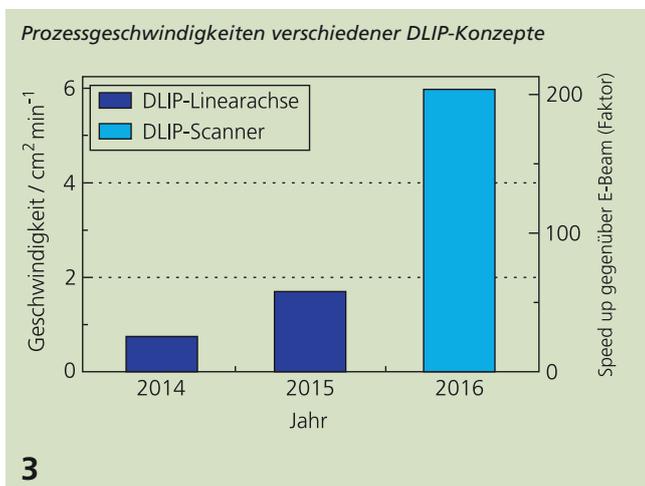


ERGEBNISSE

Ein Vergleich der Prozessgeschwindigkeiten zwischen einem DLIP-System mit Linearachsen und dem neu entwickelten DLIP-Galvanometer-Scannersystem veranschaulicht das deutliche Innovationspotenzial bei der Reduzierung von Prozesszeiten (Abb. 3). Bis zum Jahr 2015 konnten unter Nutzung eines DLIP-Systems mit Linearachsen nur geringe Prozessgeschwindigkeiten von ca. $1,5 \text{ cm}^2 \text{ min}^{-1}$ erzielt werden.

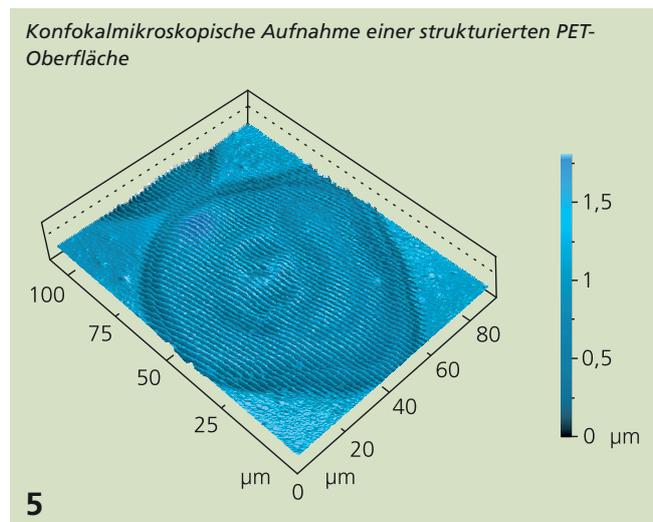
Das DLIP-Galvanometer-Scannersystem ermöglicht durch seine geringere Trägheit deutlich höhere Flächenraten von ca. $6 \text{ cm}^2 \text{ min}^{-1}$ (bei 1 kHz Pulswiederholrate des Lasersystems). Dies stellt eine Vervielfachung der Prozessgeschwindigkeit dar, welche im Wesentlichen nur von der Pulswiederholrate des verwendeten Lasersystems beschränkt wird (Abb. 3).

Leistungsfähigere Laserquellen in Kombination mit dem DLIP-Scannersystem lassen eine deutliche Steigerung der Flächenrate auf $60 \text{ cm}^2 \text{ min}^{-1}$ (@ 10 kHz) bis $1500 \text{ cm}^2 \text{ min}^{-1}$ (@ 250 kHz) erwarten. Dies ermöglicht z. B. beim Rapid Prototyping kürzere Prozesszeiten und damit einen deutlichen Wettbewerbsvorteil.



Das Strukturieren größerer Oberflächenbereiche erfolgt unter Nutzung optimierter Stitchingmethoden. Dabei werden die zu strukturierenden Bereiche in mehrere Oberflächensegmente zerlegt und sequentiell strukturiert. Ein mögliches Anwendungsbeispiel findet sich im Produkt- und Markenschutz als dekoratives Element (Abb. 4).

Die mittels DLIP-Scannersystem erzeugten Strukturen können in ihrer Strukturperiode variiert und auf verschiedenen Materialien wie z. B. Polymeren hergestellt werden (Abb. 5).



- 1 DLIP-Scannerbearbeitungskopf
- 2 µFab-Industrieanlage
- 4 Dekoratives Motiv der Dresdner Frauenkirche

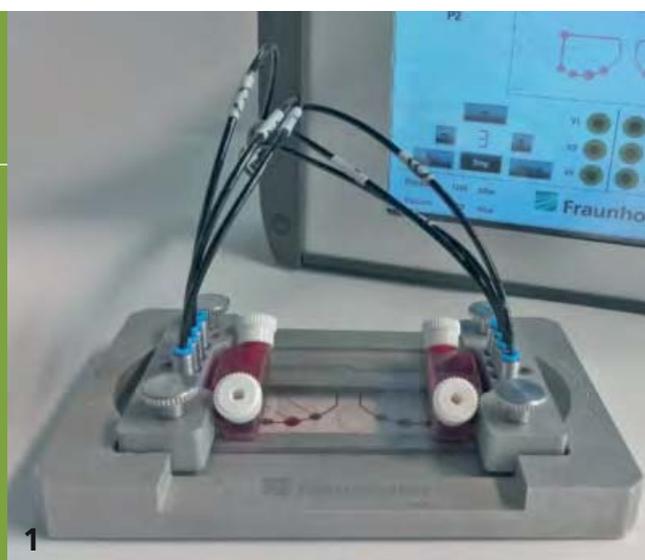
KONTAKT

Dr. Tim Kunze

+49 351 83391-3661

tim.kunze@iws.fraunhofer.de





LASERBASIERTE ZELLMANIPULATION IN MIKROPHYSIOLOGISCHEN SYSTEMEN

DIE AUFGABE

Viele Erkrankungen des menschlichen Blutkreislaufes und damit verbundener Organe wie z. B. der Niere basieren auf der Schädigung einzelner Endothelzellen, also der Zellen, die das Gefäßsystem von innen auskleiden. Die Regeneration dieser Zellen in Wechselwirkung mit dem Immunsystem hat daher eine zentrale Rolle sowohl beim Verständnis als auch bei der Heilung dieser Erkrankungen.

Für wissenschaftliche Untersuchungen der zugrundeliegenden Regenerationsmechanismen sowie der Interaktion der verschiedenen Zelltypen eignen sich besonders Zellkulturexperimente in mikrophysiologischen Systemen. Dabei werden wichtige Prozesse des menschlichen Körpers – wie der Blutfluss des kardiovaskulären Systems – durch die Kombination eines technischen Pumpensystems und der Co-Kultur aus menschlichen Blut- und Gefäßzellen nachgebildet. Die Untersuchung von Zellregenerationsmechanismen in einem solchen System erfordert einen Schaden der Gefäßzellen an der Innenwand. Gewöhnlich erfolgt das gezielte Beschädigen der Zellen mit einer Kanüle oder durch eine chemische Stimulation. In einem geschlossenen Zellkultursystem können diese, auch wegen der hohen Anforderungen an die Präzision der Schädigung, jedoch nicht zur Anwendung kommen.

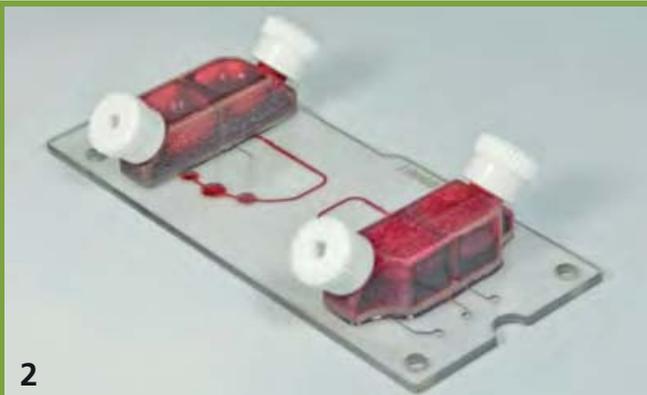
Aufgabe des Fraunhofer IWS Dresden war es deshalb, in einem geschlossenen, mechanisch von außen unzugänglichen mikrophysiologischen System eine konkrete, möglichst partielle und definierte Manipulation oder Schädigung ausgewählter Zellbereiche vorzunehmen. Sowohl der Verlauf der Schädigung als auch die anschließenden Regenerationsmechanismen sollten parallel über Bilder und Videos dokumentiert werden.

UNSERE LÖSUNG

Für die gleichzeitige Kultivierung verschiedener Zelltypen unter körperähnlichen Bedingungen wurde am IWS eine mikro-physiologische Basisplattform entwickelt (Abb. 1). Diese besteht aus einer Steuereinheit und einem mehrlagigen, aus Polymerfolien aufgebauten, mikrofluidischen System. Sie enthält eine integrierte, herzförmige Pumpe, Zellkultursegmente und Medienreservoir. Durch das flexible Design der mikrofluidischen Plattform kann diese an verschiedene wissenschaftliche Fragestellungen entsprechend der Zellkulturanforderungen angepasst werden.

Zur Untersuchung der Regenerationsmechanismen des humanen Gefäßsystems und seiner Wechselwirkungen mit immunologischen Zellen wurde ein mikrophysiologisches System entworfen, das eine herzförmige Pumpe sowie mit Endothelzellen bewachsene Kanäle und zirkulierende Immunzellen, sogenannte Monozyten, enthält (Abb. 2). Lasermikrostrukturierte Positionsmarkierungen in der Polymerfolie neben den Zellkultursegmenten ermöglichen die einfache Nachverfolgung des laserinduzierten Schadens.

Für die definierte, ortsselektive Schädigung von Zellen wurden leistungsstabile Laserquellen in den Strahlengang eines Durchlichtmikroskops eingekoppelt. Mit dem entwickelten Aufbau ist es möglich, definierte Abschnitte mikrophysiologischer Systeme optisch zu inspizieren, gezielt mittels Laserbestrahlung zu manipulieren sowie on-line zu überwachen.



2



4

ERGEBNISSE

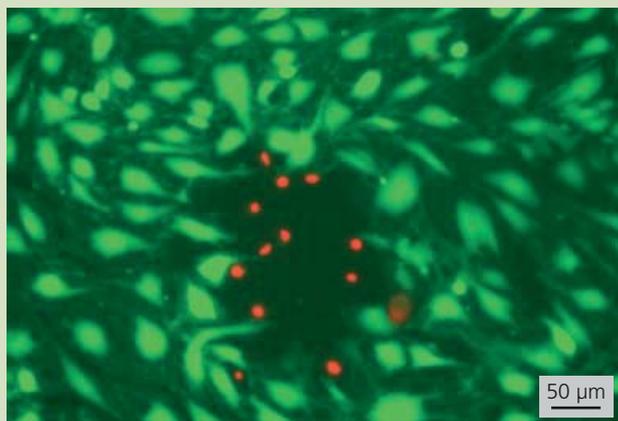
Durch die Kombination aus mikrophysiologischem System und laserbasiertem optischen Manipulationssystem konnte die selektive, ortsspezifische Schädigung eines definierten Zellverbandes innerhalb der geschlossenen Schicht aus Gefäßzellen realisiert werden. Die Gestaltung des mikrophysiologischen Systems ermöglicht es, mehrere zuvor markierte Punkte innerhalb des Systems definiert zu schädigen (Abb. 4). In Abbildung 3 ist der selektive Schaden in einer geschlossenen Zellschicht dargestellt.

Durch den Einsatz eines Time-laps-Mikroskops konnte sowohl der anschließende Regenerationsprozess als auch die Auswirkung von Immunzellen während dieses Prozesses studiert werden. Die der Regeneration zugrundeliegenden Prozesse, also Proliferation von Endothelzellen sowie die Migration zum Schadensort können mit dem Setup gut untersucht und dokumentiert werden und helfen so, das komplexe Zusammenspiel zwischen Immunzellen und Endothel zu verstehen.

Darauf aufbauend wird das entwickelte System zur Untersuchung des Einflusses von Medikamenten auf den Regenerationsprozess verwendet. Grundvoraussetzung für solche vergleichenden Untersuchungen ist die reproduzierbare Erzeugung definierter Zellschädigungen mithilfe der entwickelten Technologie.

- 1 *Mikrophysiologisches Basissystem*
- 2 *Adaptiertes mikrophysiologisches System für die Co-Kultur von Endothelzellen und Monozyten*
- 4 *Laserbasierte Schädigung an einer markierten Stelle im mikrophysiologischen System*

Selektiver Schaden (rot) in einem geschlossenen Zelllayer (grün)



3

KONTAKT

Dipl.-Ing. Florian Schmieder

+49 351 83391-3520

florian.schmieder@iws.fraunhofer.de





CHARAKTERISIEREN UND MIKROSTRUKTURIEREN MIT FOCUSED ION BEAM (FIB)

DIE AUFGABE

Bei der Entwicklung moderner Werkstoffe, Schichtsysteme und Bearbeitungsverfahren besteht ein wesentliches Ziel darin, die Grenzen der mechanischen Belastbarkeit auszuschöpfen. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die detaillierte Kenntnis der Mikrostrukturen, wobei zum einen die bewusst im Werkstoff erzeugten Inhomogenitäten, wie z. B. Korngrenzen und Ausscheidungen, interessieren und zum anderen die Wirkungen unerwünschter Einflussfaktoren wie Ungängen, Mikrorisse oder Delaminationen bekannt sein müssen. In diesem klassischen Aufgabenbereich der Materialographie und Werkstoffprüfung bestehen aktuelle Anforderungen darin, für immer kleinere betrachtete Strukturlängen zunehmend höher aufgelöste Informationen zu gewinnen und gleichzeitig repräsentative oder gezielt ausgewählte Volumina zu analysieren. Dabei ist eine Erweiterung der etablierten Methodik der Anfertigung von Querschnitten und deren flächenhafter Abbildung zu einer tomographischen 3D-Abbildung und -Analyse vor allem für die Untersuchung anisotroper Strukturen in Verbund- und Gradientenwerkstoffen sowie in Schichtsystemen unverzichtbar.

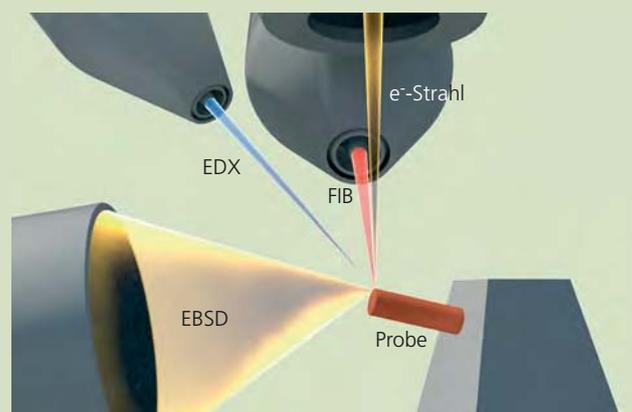
UNSERE LÖSUNG

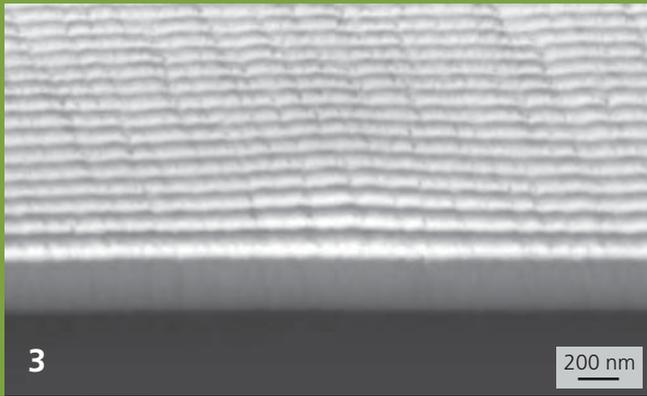
Für die hochpräzise, schädigungsarme und gleichzeitig effiziente Zielpreparation des Werkstoffgefüges in einem eigenschaftsbestimmenden Volumensegment hat sich die Verwendung von fokussierten Ionenstrahlen (Focused Ion Beam, FIB) etabliert. Bei Kombination mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) zu einem sogenannten Zweistrahlgerät sind die Probenherstellung und -analyse direkt gekoppelt durchführbar.

Für die Anforderungen des Fraunhofer IWS Dresden und seiner Kooperationspartner wird ein spezielles FIB/REM-Zweistrahlensystem eingesetzt, das mit Detektoren für Sekundär-, Rückstreu- und transmittierte Elektronen, mit Systemen zur Analyse der chemischen Zusammensetzung (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, EDX) und zur Untersuchung der Kristallorientierung (Electron Back Scattered Diffraction, EBSD) sowie mit einem Mikromanipulator ausgestattet ist (Abb. 1).

Ein wesentlicher Vorzug des gewählten Systemaufbaus besteht darin, dass die Anordnung der Detektoren sowie der EDX- und EBSD-Analysesysteme zum Ionen- und zum Elektronenstrahl so gewählt ist, dass zwischen Präparations- und Messprozessen keine Bewegung der Probe erforderlich ist (Abb. 2). Dadurch ist ein automatisierter Ablauf komplexer Analysen, wie z. B. tomographischer Messungen, bei gleichzeitig hoher geometrischer Genauigkeit möglich. Darüber hinaus können Miniaturbauteile mit Abmessungen im Mikrometerbereich und Genauigkeiten unterhalb von 100 nm hergestellt werden.

Geometrie zwischen Ionen- und Elektronenstrahl, EDX- und EBSD-Analysesystemen sowie Probe





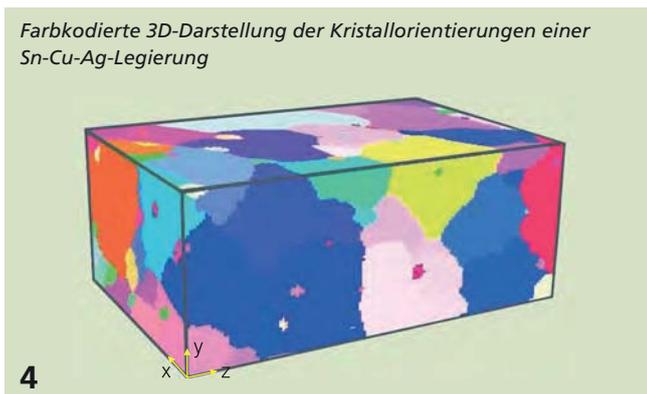
ERGEBNISSE

Für die Charakterisierung von Schichtsystemen kommen die Vorteile der FIB-Präparation vor allem hinsichtlich einer zielgenauen und schädigungsarmen Probenherstellung zum Tragen. In Abbildung 3 ist ein Querschnitt durch einen Stapel von Siliziumoxid/Hafniumoxid-Schichten auf einem Aluminium-Substrat mit einer Nickel-Haftschiicht gezeigt. Dabei erscheinen die Hafnium-haltigen Schichten heller und die Silizium-haltigen Schichten dunkler. Sehr gut erkennbar ist die hohe erreichbare Auflösung bei Schichtdicken von ca. 40 nm.

Abbildung 4 zeigt die Mikrostruktur einer Sn-Cu-Ag-Legierung mit farbkodierter Darstellung der Orientierungsverteilung der Körner. Die Präparation und Analyse erfolgte hier durch kombiniertes Abtragen von Materialschichten in z-Richtung und Kartierung der Orientierungen (»Mapping«) in den jeweils neu freigelegten x-y-Ebenen mittels EBSD. Anschließend wird durch Stapelung der Einzelergebnisse ein 3D-Modell des untersuchten Volumens erzeugt.

Die 3D-Analyse zum Gefügeaufbau bei Auflösungen im Bereich von 10 nm bietet einen sehr hohen Informationsgehalt, beispielsweise zum Einfluss von Fertigungsprozessen auf die Gefügeausbildung und die daraus resultierenden Eigenschaften. Sie kann auch als Grundlage für die Abbildung repräsentativer Mikrostrukturen in einem Simulationsmodell (z. B. zur Vorhersage des Verformungsverhaltens einer Struktur) dienen.

Farbkodierte 3D-Darstellung der Kristallorientierungen einer Sn-Cu-Ag-Legierung



Die FIB-Technologie eignet sich nicht nur in besonderer Weise zur Abbildung eines Werkstoffgefüges, sondern kann auch zur Erzeugung von geometrischen Strukturen auf der mikro- und nanoskaligen Ebene genutzt werden. Für die Herstellung spezieller röntgenoptischer Bauelemente (Multischicht-Laue-Linsen) ist es erforderlich, dünne Stege mit parallelen Oberflächen und definierter Dicke aus sehr empfindlichen, kleinen Rohteilen herauszuschneiden. Die erforderliche Genauigkeit bei gleichzeitiger Vermeidung von Schädigungen durch Amorphisierung ist nur durch die Verwendung fokussierter Ionenstrahlen und Optimierung der Prozessführung bei der Präparation erreichbar. Das Beispiel in der Abbildung 5 zeigt die glatte Oberfläche und die geometrische Gleichmäßigkeit, die beim FIB-Schnitt erreicht wird. Die Dicke des Stegs beträgt 1 μm.

Insgesamt bietet die FIB-Technologie eine Vielzahl an Möglichkeiten, um ein tieferes Verständnis für die Struktur-Eigenschaftskorrelationen des zumeist inhomogenen Materialaufbaus der am IWS generierten Werkstoffe und Schichtsysteme zu gewinnen und eröffnet außerdem neue Potenziale zur Herstellung mikro- und nanoskaliger Bauelemente.

- 1 FIBREM-Zweistrahlergerät
- 3 Abbildung eines Schichtstapels aus SiO_2 und HfO_2
- 5 Mikro-Bauteil für eine Multischicht-Laue-Linse

KONTAKT

Dr. Jörg Bretschneider

+49 351 83391-3217

joerg.bretschneider@iws.fraunhofer.de



MESSEN MIT LICHT – MULTISPEKTRALE PROFILOMETRIE

DIE AUFGABE

Das Strukturieren von technischen Oberflächen mittels Laseranlagen spielt eine wichtige Rolle in der Industrie. Besonders die präzise Herstellung von Mikro- und Submikrostrukturen zur Einstellung von Oberflächenfunktionen und zur Herstellung von fälschungssicheren Merkmalen stellt höchste Anforderungen an die eingesetzte Gerätetechnik. Zur Einhaltung dieser Anforderungen ist die Entwicklung neuer und aufgabenspezifischer Messtechnik nötig.

Eine der wichtigsten Aufgaben bei der Laseroberflächenstrukturierung ist die Kontrolle des Materialabtragniveaus im laufenden Bearbeitungsprozess. Der Abtrag von Material variiert stark während der Bearbeitung und hängt unter anderem von den Materialeigenschaften jeder einzelnen Oberfläche und den Maschinenparametern ab. Durch den Abtrag einzelner Mikroschichten wird das Substratmaterial zudem lokal verändert. Diese Materialveränderungen verhindern die Kalkulierbarkeit des Abtragsniveaus für tiefere Schichten. Der Einsatz entsprechender Messtechnik ist notwendig. Die Qualität und Geschwindigkeit der Messung des Abtragsniveaus bestimmt dabei wesentlich die Eignung für einen industriellen Einsatz.

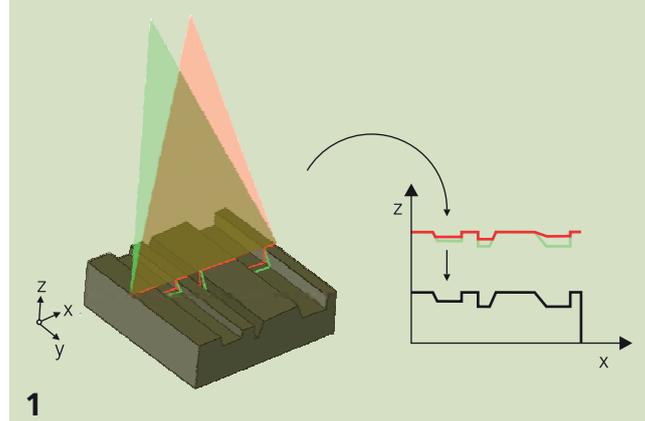
Die Aufgabe eines aktuellen Forschungsvorhabens des IWS Anwendungszentrums AZOM in Zwickau ist die Entwicklung eines industrietauglichen Messverfahrens zur Messung des Materialabtrages während des Lasermikrostrukturierens. Im Mittelpunkt steht die präzise, prozessbegleitende und schnelle Erfassung von Oberflächeneigenschaften, um den Einsatz der Messtechnik in einer Produktionsumgebung zu ermöglichen.

UNSERE LÖSUNG

Zur Lösung der Aufgabenstellung wurde ein auf dem Grundprinzip des Lichtschnittverfahrens basierendes Messsystem modifiziert und aufgebaut (Abb. 1). Insbesondere zeichnet sich der Aufbau durch die Integration von drei verschiedenen Wellenlängen aus. Im aufgebauten Setup wurden Laser mit den Wellenlängen 455 nm, 532 nm und 638 nm mittels Zylinderlinsen linienförmig auf den interessanten Bereich einer Probe fokussiert und mittels Kamera in den Kanälen R(ot), G(rün) und B(lau) separat detektiert.

Die drei Wellenlängen werden jeweils in unterschiedlichen Winkeln auf die Probe gestrahlt. Dadurch können Abschattungseffekte an dreidimensionalen Oberflächenstrukturen vermieden werden, welche eine Einschränkung des möglichen Höhenmessbereichs verursachen würden. Außerdem ermöglicht der Einsatz von drei verschiedenen Wellenlängen eine Erhöhung des dynamischen Detektionsbereichs mit Hinblick auf die Materialeigenschaften.

Darstellung des prinzipiellen multispektralen Messaufbaus (hier mit zwei Spektralbereichen)



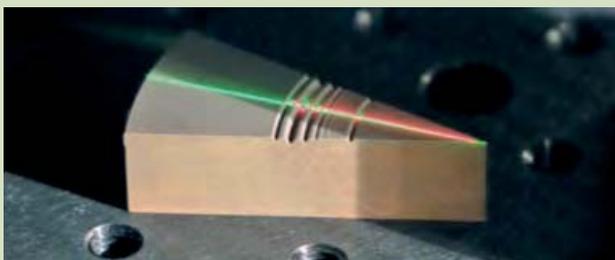
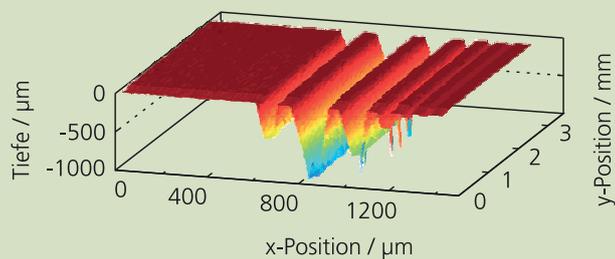


Durch das individuelle Absorptionsverhalten der unterschiedlichen, in der Lasermaterialbearbeitung relevanten Substratmaterialien, kommt es bei herkömmlichen Messsystemen zu Einschränkungen in der Detektionsfähigkeit. Der Einsatz unterschiedlicher Spektralbereiche zur Oberflächencharakterisierung ermöglicht die Kompensation von Absorptionseffekten durch Beleuchtung mit anderen, besser geeigneten Spektralbereichen und damit auch eine Steigerung der Messdynamik.

ERGEBNISSE

Das Projekt beinhaltet weitreichende Untersuchungen zur Qualifizierung von optischen Komponenten wie Messlaser und Kameras. Die Ergebnisse zeigen, dass zur Erreichung einer Messgenauigkeit im niedrigen, zweistelligen μm -Bereich der Einsatz teurer Speziallaser nicht nötig ist. Vielmehr wurde nachgewiesen, dass eine hochauflösende Kamera in Kombination mit einer intelligenten Softwareanalyse die nötige Messauflösung ermöglicht. Vor allem bei der Entwicklung der Analysesoftware konnte das Projektteam am AZOM seine Expertise einbringen.

Darstellung eines berechneten Höhenprofils (oben) eines vermessenen Objektes (unten)



3

Die Anwendung von passgenauen Filteralgorithmen und eine korrekte Kalibrierung des Messsystems haben es ermöglicht, aus den Rohdaten von Messungen an Teststrukturen entsprechende Höhenprofile mit hoher Auflösung zu errechnen (Abb. 3). Die Auswertung aller drei Wellenlängenbereiche hat überdies zur gewünschten Dynamikerhöhung geführt.

Die Messungen und deren Ergebnisse konnten sowohl an Höhennormalen (PTB TEN 900) als auch an typischen Proben durchgeführt und verifiziert werden. Eine Übertragung der Erkenntnisse aus Laboruntersuchungen in eine reale Produktionsumgebung läuft derzeit bei einem Industriepartner. Hierzu wurde der Messaufbau miniaturisiert und an die Gegebenheiten einer Lasermaterialbearbeitungsanlage angepasst.

Eine Nutzung der entwickelten Technologie in anderen Anwendungsgebieten wie der Verpackungsindustrie, dem Strangpressen von Profilen oder in der Textilindustrie ist in Vorbereitung.

2 Einrichtung und Justage des Messaufbaus

KONTAKT

Dipl. Ing. (FH) Christopher Taudt

+49 375 536-1972

christopher.taudt@iws.fraunhofer.de



MIKROSYSTEMTECHNIK UND LABORAUTOMATION – EINE ERFOLGSGESCHICHTE



DR. STEFFEN HOWITZ

Geschäftsführer
GeSiM Gesellschaft für Silizium-Mikrosysteme mbH



DR. FRANK SONNTAG

Gruppenleiter Micro- und Biosystemtechnik
Fraunhofer IWS

Redaktion: Herr Dr. Howitz, seit vielen Jahren arbeitet Ihr Unternehmen mit dem Fraunhofer IWS zusammen. Wann und wie kam es zu der Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik?

Dr. Howitz: Die enge und umfassende Zusammenarbeit zwischen der GeSiM - Gesellschaft für Silizium-Mikrosysteme mbH und dem IWS begann im Jahr 2005. Im Rahmen eines Verbundprojektes wurde gemeinsam eine universelle Mikrofluidikplattform für Biosensoren entwickelt und etabliert. Grundlage bildeten die am IWS vorhandenen Technologien zur Lasermikromaterialbearbeitung.

Redaktion: Welche Entwicklungsschritte wurden gemeinsam gegangen und welche Herausforderungen waren zu meistern?

Dr. Howitz: Zunächst wurde gemeinsam untersucht, in welchen technologischen Grenzen die für die Mikrosystemtechnik relevanten Werkstoffe (Polymere, Silikone, Glas, Silizium) mittels Laser strukturiert und funktionalisiert werden können. Dabei stellte sich heraus, dass die Bearbeitung mit Ultrakurz-pulslasern eine preiswerte und flexible Alternative zu lithographischen Verfahren darstellt. Viele Mikrosystemtechnikhersteller hatten sich bereits intensiv mit dem Thema Laserstrukturierung beschäftigt. Es fehlte jedoch an konkreten Technologieketten und anlagentechnischen Lösungen für die Fertigung von Mikrosystemen. Die größte Herausforderung bestand deshalb in der Integration der Lasermikromaterialbearbeitung in die bestehenden Technologieketten. Dafür mussten die Laserbearbeitungsprozesse im Hinblick auf die Reduzierung von Mikrorissen und Ablagerungen sowie die Minimierung der Wärmeeinflusszone optimiert und neue Technologien zum Reinigen und Verbinden der strukturierten Substrate entwickelt und etabliert werden.



Redaktion: Wo stehen wir heute?

Dr. Howitz: Die laserbasierten Technologien stellen inzwischen das technologische Rückrad für die Herstellung von hochflexiblen multilagenbasierten Mikrosystemen auf Polymerbasis dar (siehe auch Seite 92/93). Integrierte Membranen ermöglichen heute die Fertigung von pneumatisch steuerbaren Mikropumpen und Ventilen. Damit konnten erfolgreich neue Geschäftsfelder im Bereich mikrophysiologische Systeme und Multi-Organ-Chips erschlossen werden. Parallel wurde die Kooperation auf den Bereich Systemtechnik ausgedehnt und erfolgreich mehrere Module und Geräteplattformen entwickelt. Besonders hervorzuheben sind der Mehrkanal-3D-Drucker und die 2-Ebenen-Laborautomationsplattform.

Redaktion: Was ist Ihnen an der Zusammenarbeit mit dem Partner besonders angenehm aufgefallen?

Dr. Howitz: Besonders hervorzuheben ist, dass aus den gemeinsamen Projekten zahlreiche erfolgreiche Produkte wie die bereits erwähnten Multi-Organ-Chips hervorgegangen sind. So bildet beispielsweise der gemeinsam entwickelte Mehrkanal-3D-Drucker die Basis für unsere BioScaffolder-Plattform.

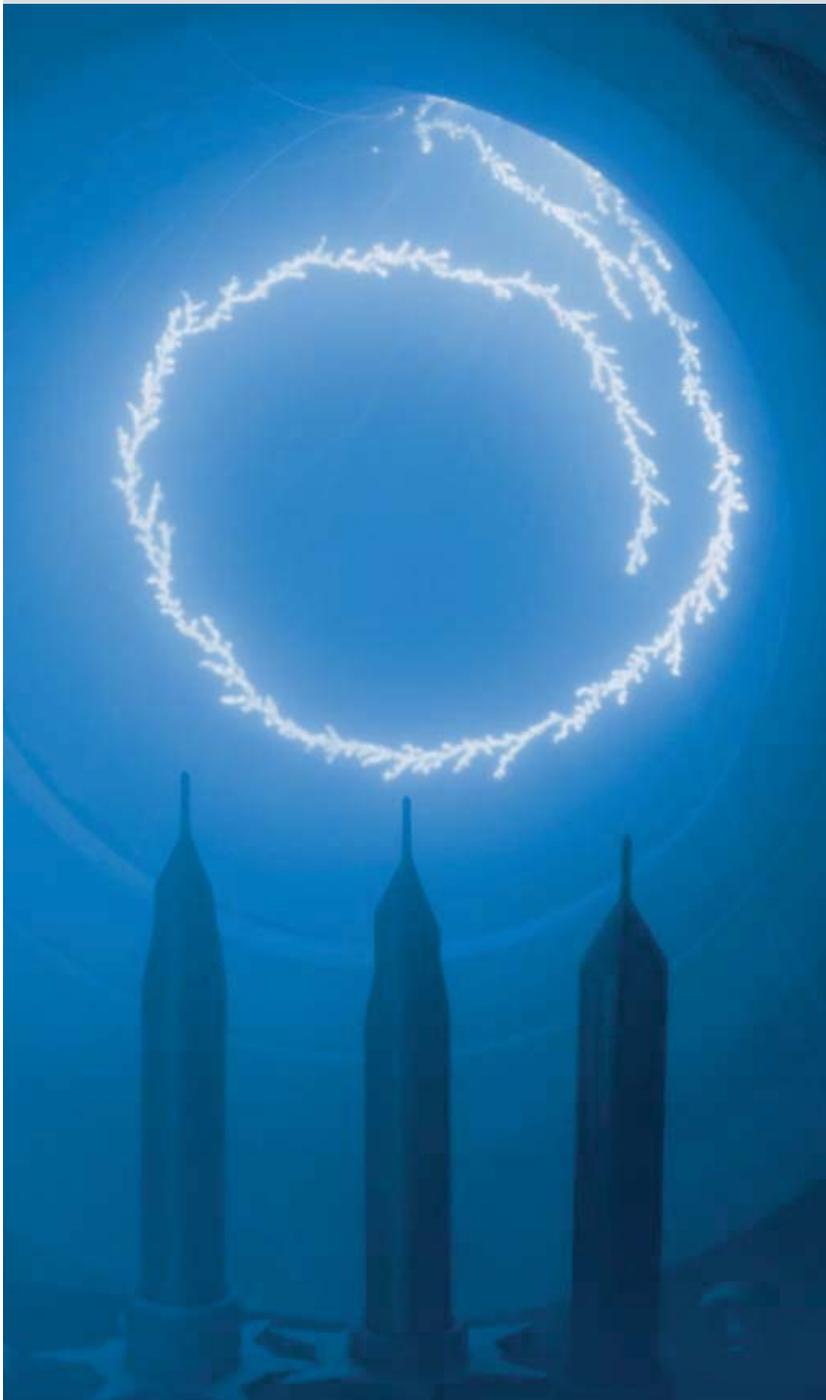
Dr. Sonntag: Das IWS profitiert von den umfangreichen Technologien und Erfahrungen der GeSiM sowie dem intensiven Austausch. Wir werden von unserem Partner GeSiM schon sehr früh in die technische Abstimmung der einzelnen Projekte einbezogen. Zudem laufen seit zehn Jahren kontinuierlich FuE-Projekte zwischen GeSiM und dem IWS, was es uns ermöglicht, unabhängig von den einzelnen Kundenprojekten industrielle Vorlaufforschung auf dem Gebiet zu betreiben.

Redaktion: Wo stehen wir heute und was sind die nächsten Entwicklungsziele?

Dr. Howitz: Für die Zukunft haben wir uns weitere Neuerungen zum Ziel gesetzt. Gemeinsam mit dem IWS wollen wir die multilagenbasierten Mikrosysteme um zusätzliche Funktionalitäten wie bspw. plasmonische Strukturen erweitern. Dafür müssen wir unsere Nano-Imprint-Lithographie-Technologie in die bestehende Prozesskette integrieren. Darüber hinaus soll eine universelle Plattform für tierversuchsfreie Substanztestung und medizinische Grundlagenforschung entstehen. Sie vereint multilagenbasierte Mikrosysteme, 3D-Drucktechnologien zum Herstellen definierter Testgewebe und die 2-Ebenen-Laborautomationsplattform für das automatisierte Handling.

Dr. Sonntag: Parallel wollen wir unsere gemeinsame Strategie zum Erschließen asiatischer Märkte weiterführen und ausbauen. 2016 sind wir bereits erfolgreich gemeinsam auf Messen und Konferenzen in China aufgetreten und dabei auf sehr großes Interesse gestoßen. Aus diesem Grund denken wir darüber nach, die multilagenbasierten Mikrosysteme, die 3D-Drucktechnologien und die 2-Ebenen-Laborautomationsplattform ab 2017 im GeSiM-Applikationslabor in Shanghai zu präsentieren.

PVD- UND NANOTECHNIK



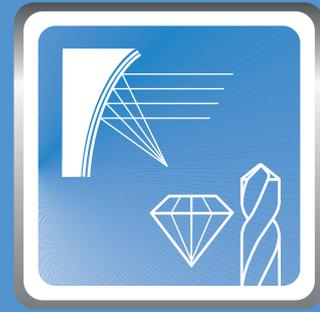
Redaktion: Herr Prof. Leson, nach einigen zeitlichen Verzögerungen scheint sich die EUV-Lithographie nun endgültig durchzusetzen, um in den kommenden Jahren für die Volumenproduktion von integrierten Schaltkreisen eingesetzt zu werden. Welche Beiträge kann das IWS mit seinem Know-how hier leisten?

Prof. Leson: In der Tat scheint die Zeit für die EUV-Lithographie aus technischen wie auch aus ökonomischen Gründen gekommen zu sein. Wesentlichen Motive dafür sind sowohl die deutlichen Fortschritte bei der Produktivität der aktuellen EUV-Waferstepper als auch die stark zunehmende Komplexität herkömmlicher Waferstepper, die verbunden ist mit einem drastischen Anstieg der Kosten. Als IWS fokussieren wir unsere Aktivitäten auf die Optiken, die eine zentrale Schlüsselkomponente darstellen. Bei ihnen können wir unser langjähriges Know-how bei der Abscheidung ultrapräziser Nanometerverschichtungen am besten einbringen. So ist es uns gelungen, die Reflektivität von EUV-Optiken auf deutlich über 70 Prozent zu steigern und hiermit die weltbesten Werte zu erzielen. Für den Durchsatz und damit die Produktivität der Stepper resultieren daraus entscheidende Vorteile.

Redaktion: Die FuE-Aktivitäten Ihres Geschäftsfeldes, die sich mit Kohlenstoffschichten befassen, waren im vergangenen Jahr erneut besonders stark nachgefragt. Können Sie uns etwas zu den Gründen sagen, die dieses große Interesse hervorrufen?

Prof. Leson: Unsere ta-C Schichten bieten im Hinblick auf ihre Härte und damit Verschleißfestigkeit deutliche Vorteile gegenüber den weit verbreiteten klassischen DLC-Schichten. Zudem zeichnen sie sich unter bestimmten Beanspruchungsbedingungen durch extrem niedrige Reibwerte aus. Damit sind sie praktisch für nahezu alle Anwendungen interessant, bei denen Reibung und Verschleiß auftritt. Besonders im Fokus stehen derzeit

»Wer aufhört besser zu werden, hat aufgehört, gut zu sein.«
Philip Rosenthal



GESCHÄFTSFELDLEITER

PROF. ANDREAS LESON

☎ +49 351 83391-3317

✉ andreas.leson@iws.fraunhofer.de

Themen aus der Automobilindustrie, da hier ein Einsatz unserer ta-C-Schichten maßgeblich zur Steigerung der Energieeffizienz und damit zur Senkung des CO₂-Ausstoßes beitragen kann. Erfreulicherweise verfügen wir neben der Schichtentwicklung auch über die erforderliche Prozesstechnik, mit der sich ta-C-Schichten abscheiden lassen. So ist unser im IWS entwickeltes Laser-Arc-Verfahren weltweit einzigartig, was die produktive Herstellung glatter industrietauglicher ta-C-Schichten betrifft. Diese Kombination ist wesentlich für die starke Nachfrage nach unserem FuE-Angebot. Besonders gefreut haben wir uns darüber, dass wir mit dieser Entwicklung im Jahr 2016 zu den Gewinnern des Innovationspreises der EARTO, des europäischen Fachverbandes aller Forschungs- und Technologieorganisationen gehörten.

Redaktion: Neben den Kohlenstoffschichten befassen Sie sich in Ihrem Geschäftsfeld auch mit anderen Hartstoffschichten, die vielfach zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Werkzeugen eingesetzt werden. Gibt es auf diesem Sektor neue Entwicklungen?

Prof. Leson: Der Einsatz von Hartstoffschichten ist aufgrund ihrer zahlreichen Vorteile in vielen Industriezweigen nicht mehr wegzudenken. Es gibt aber auch noch viele Anwendungen, bei denen die Eigenschaften der Hartstoffschichten für einen industrielleren Einsatz noch nicht ausreichend sind. Wir haben daher sehr dicke mehrlagige Hartstoffschichten entwickelt, die sich insbesondere für den Einsatz bei Umformwerkzeugen eignen, wo extreme Kräfte und Temperaturwechselbelastungen auftreten. Zudem haben wir neue Lösungen gefunden, um die bei dicken Schichten häufig beobachtete Kantenverrundung durch eine geeignete Prozesssteuerung zu vermeiden. Wir sind zuversichtlich, dass mit diesen Neuerungen das Anwendungsspektrum deutlich erweitert wird und wollen dies in den kommenden Jahren mit unseren industriellen Partnern umsetzen.



KOMPETENZEN UND ANSPRECHPARTNER



Dr. Otmar Zimmer, Gruppenleiter PVD-Schichten

☎ +49 351 83391-3257 / ✉ otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de

» Verfahren der physikalischen Dampfphasenabscheidung (PVD = Physical Vapor Deposition) erlauben die Abscheidung hochwertiger tribologischer und funktioneller Schichten im Dickenbereich von wenigen Nanometern bis zu einigen hundert Mikrometern. Dafür stehen Verfahren von der Hochrate-Bedampfung bis hin zu hochaktivierten Plasmaverfahren zur Verfügung. Schwerpunkt ist u. a. die Herstellung sehr dicker PVD-Schichten für verschiedene Anwendungen. «



Dr. Stefan Braun, Abteilungsleiter Nanoschichten

☎ +49 351 83391-3432 / ✉ stefan.braun@iws.fraunhofer.de

» Präzisionsschichten mit Dicken im Nanometerbereich werden bereits seit mehreren Jahren in der Industrie genutzt. Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte sind Einzel- und Multischichten für optische und fügetechnische Anwendungen. Im Bereich der Optik umfasst dies sowohl Reflexionsschichten für EUV- und Röntgenspiegel als auch Multischicht-Laue-Linsen für die Fokussierung von Röntgenstrahlung. Für fügetechnische Anwendungen werden Reaktivmultischichten als zeitlich und räumlich präzise einstellbare Wärmequelle auf der Basis von selbsterhaltenden exothermen Reaktionen erforscht. «



Dipl.-Phys. Peter Gawlitza, Gruppenleiter EUV- und Röntgenoptik

☎ +49 351 83391-3431 / ✉ peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de

» Zur Abscheidung von Nanometer-Einzel- und -Multischichten für EUV- und Röntgenoptiken setzen wir hauptsächlich die Verfahren der Magnetron- und Ionenstrahl-Sputterdeposition ein. Die Schichtsysteme genügen höchsten Ansprüchen hinsichtlich Dickengenauigkeit, Rauheit, chemischer Reinheit, lateraler Homogenität und Reproduzierbarkeit. Desweiteren beschäftigen wir uns mit Ionenstrahlverfahren zur Konturierung und Politur röntgenoptischer Substrate. «



Dipl.-Ing. Georg Dietrich, Gruppenleiter Energiespeicherschichten

☎ +49 351 83391-3287 / ✉ georg.dietrich@iws.fraunhofer.de

» Durch den Einsatz von Reaktiv-Multischicht-Systemen (RMS) lassen sich Metalle, Keramiken, Halbleiter und Polymere materialschonend, spannungsarm und schnell verbinden. Dazu wird eine direkt an den Fügeprozess angepasste RMS zwischen die beiden zu fügenden Bauteile eingelegt und aktiviert. Es kommt zu einer chemischen Reaktion, infolge derer kurzzeitig und lokal eng begrenzt Wärmeenergie zum Fügen der Bauteile bereitgestellt wird. «



Dr. Volker Weihnacht, Abteilungsleiter Kohlenstoffschichten
☎ +49 351 83391-3247 / ✉ volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de



» Die vom IWS entwickelten superharten ta-C-Kohlenstoffschichten (Diamor®) eignen sich hervorragend als reibungsmindernde Schutzschichten für geschmierte und ungeschmierte Anwendungen. Sie können auf Werkzeuge, Komponenten und Bauteile mit sehr guter Haftung in einem weiten Schichtdickenbereich abgeschieden werden. Die Beschichtung erfolgt mit der speziell für ta-C-Schichten entwickelten Laser-Arc-Technologie. Für die industrielle Einführung der Diamor®-Schichten liefert das IWS zusammen mit Partnerunternehmen neben der Technologie auch die erforderlichen Beschichtungsquellen. «

Dipl.-Ing. Gregor Englberger, Gruppenleiter Beschichtungsverfahren
☎ +49 351 83391-3562 / ✉ gregor.englberger@iws.fraunhofer.de



» Die Kernkompetenz der Gruppe liegt in der Herstellung von superharten Kohlenstoffschichten. Ein sehr gutes Prozessverständnis erlaubt die Anpassung der ta-C-Schichten auf unterschiedliche Kundenanforderungen. Mit der am IWS entwickelten Laser-Arc-Technologie wird eine effektive Plasmaquelle zur Abscheidung von wasserstofffreien Kohlenstoffschichten zur Verfügung gestellt, die bereits für den industriellen Einsatz optimiert wurde. «

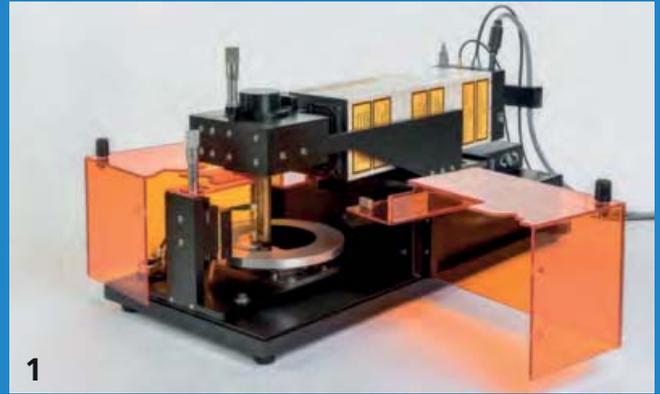
Dipl.-Ing. Stefan Makowski, Gruppenleiter Schichteigenschaften
☎ +49 351 83391-3192 / ✉ stefan.makowski@iws.fraunhofer.de



» Anwendungsrelevante Schichteigenschaften werden durch Prüfung mechanischer und struktureller Kenngrößen gewährleistet. Neben verbreiteten Verfahren wie Nanoindentation und tribologischer Prüfung werden auch methodische Arbeiten mit Schwerpunkt Laserakustik (LAWave) und Haftfestigkeitsprüfung durchgeführt. «

BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2016

1. LAWave 2G – Ein neues Prüfgerät für Oberflächen und Schichten	104
2. Scharfe Kanten durch Beschichten	106
3. EUV-Spiegelschichten für die 7 nm Lithografie	108
4. Metallischen Bipolarplatten – Kompakt, Preiswert, Langzeitstabil	110
5. Verbesserung der Verkehrssicherheit durch Antireflexionsschichten	112
6. Kohlenstoffschichten mit dem Laser-Arc-Verfahren – Verschleißfest und Energieeffizient	114



LAWAVE 2G – EIN NEUES PRÜFGERÄT FÜR OBERFLÄCHEN UND SCHICHTEN

DIE AUFGABE

Die laserakustische Prüfmethode nimmt seit geraumer Zeit einen anerkannten Platz unter den Methoden der Schicht- und Oberflächencharakterisierung ein. LAWAVE-Geräte werden inzwischen weltweit erfolgreich angewendet, unter anderem in Japan, China, USA, Russland und Großbritannien. Das mittels Oberflächenwellen durchgeführte Messverfahren ist zerstörungsfrei, schnell und extrem sensibel gegenüber kleinen Änderungen der Oberflächeneigenschaften und dient z. B. zur Charakterisierung von Elastizitätsmodul, Dichte oder Schichtdicke (Abb. 2). Das breite Anwendungsspektrum reicht von Nanometer dicken Funktionsschichten über einige hundert Mikrometer dicke thermische Spritz- und Störschichten der Waferbearbeitung bis hin zu gehärteten Randschichten von Stahl.

Steigende Anforderungen an Leistung, Handhabung und flexible Integrationsmöglichkeit in die Prozesskontrolle sowie die Erschließung neuer Anwendungsgebiete waren die Motivation für eine konsequente Weiterentwicklung des bewährten Messverfahrens am Fraunhofer IWS Dresden.

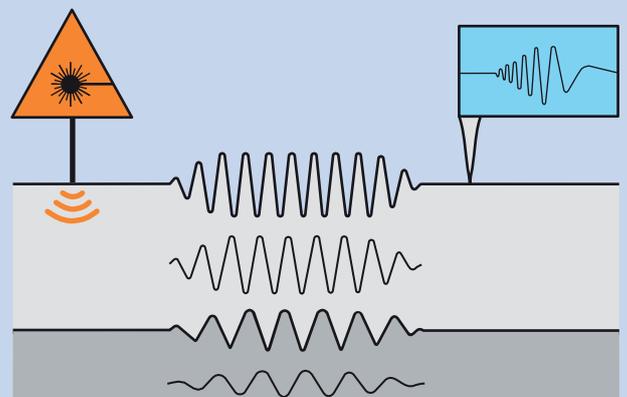
UNSERE LÖSUNG

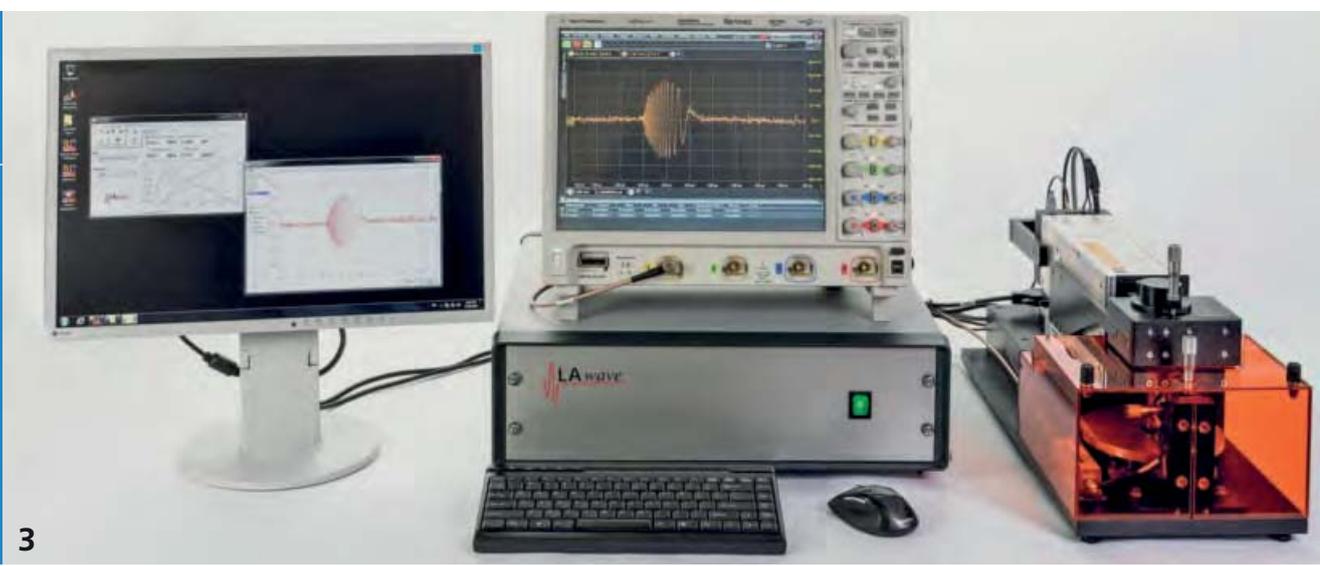
Die neue Gerätegeneration LAWAVE 2G zeichnet sich durch Verbesserungen hinsichtlich Handhabung, Größe, technischer Leistungsfähigkeit und erweiterter Auswertemöglichkeiten aus. Ein neues Gerätekonzept mit feststehendem Probestisch und positionierbarem Laser minimiert den Einfluss unterschiedlicher Prüfkörpermassen, ermöglicht so eine flexible Anpassung an Prüfkörper und Bauteile beliebiger Größe und schafft damit die Grundlage für die Integrierbarkeit in automatische Prozesse (Abb. 1).

Neue platzsparende Komponenten erlauben bei verbesserter technischer Leistungsfähigkeit einen kompakten Aufbau. Gegenüber 160 kg des ursprünglichen Systems besitzt das neue LAWAVE 2G ein Gewicht von 40 kg. Auch der Platzbedarf hat sich auf ein Drittel reduziert, so dass es auf jedem Tisch Platz findet (Abb. 3). Transport und Installation vereinfachen sich dadurch erheblich.

Modular gestaltete Messköpfe erlauben zur Abdeckung verschiedener Anwendungsbereiche die Anpassung an unterschiedlich erforderliche Frequenzbereiche. Dank der Integration eines neuen Auswertemodells in die Software wurde außerdem die Grundlage zur Auswertung von mehrlagigen Schichtsystemen geschaffen.

Prinzip des LAWAVE-Messverfahrens: Ein Laser erzeugt akustische Oberflächenwellen (links), die ein Sensor (rechts) erfasst. Das Wellenpaket enthält tiefenabhängige Informationen, die einen Rückschluss auf Werkstoffkennwerte von Kompaktkörper und Oberfläche ermöglichen.





3

ERGEBNISSE

Ein Schichtsystem mit einer tetraedrisch amorphen Kohlenstoffschicht (ta-C) und Chrom-Zwischenschicht auf einem Siliziumwafer wurde in verschiedenen Varianten mit dem LAwave-Verfahren gemessen. Die Kurvenformen der frequenzabhängigen Phasengeschwindigkeiten unterscheiden sich bereits bei minimalen Unterschieden im Aufbau des Schichtsystems deutlich (Abb. 4). Die aus den sogenannten Dispersionskurven mithilfe der Auswertesoftware ermittelten Materialparameter E-Modul E, Dichte r und Schichtdicke d sind neben den Kurven angegeben.

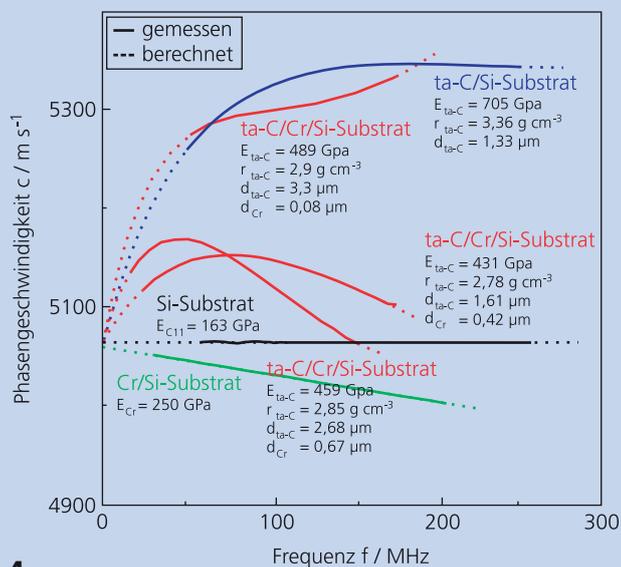
Für das unbeschichtete Silizium ist die Phasengeschwindigkeit konstant und hängt deshalb nicht von der Frequenz ab. Scheidet man eine Chromschicht auf dem Silizium ab (Cr/Si), kommt es aufgrund des Dichteunterschieds von Chrom gegenüber Silizium zu einem Abfall der Kurve gegenüber dem Substrat. Daraus lässt sich der Elastizitätsmodul berechnen.

Scheidet man statt des Chroms eine harte ta-C-Schicht auf dem Silizium ab (ta-C/Si), steigt die Kurve aufgrund der Unterschiede der E-Moduli deutlich an. Aus der mehrfach gekrümmten Kurve lassen sich dann E-Modul, Schichtdicke und Dichte der ta-C-Schicht gleichzeitig bestimmen. Kombiniert man eine ta-C-Schicht mit einer Chrom-Zwischenschicht (ta-C/Cr/Si), mischen sich die Einflüsse beider Schichten zu einer stark, teilweise mehrfach gekrümmten Kurve. Es können vier Materialparameter aus dem Kurvenverlauf berechnet werden, in diesem Beispiel sogar die Dicke der verschieden stark ausgeprägten Zwischenschichten aus Chrom.

Dank der zahlreichen Neuerungen und zeitgemäßen Überarbeitung in Konstruktion, Komponentenauswahl und Auswertesoftware präsentiert sich das LAwave-Verfahren vielfältig und flexibel für neue Anwendungen in Forschung, Entwicklung und Produktionskontrolle.

1,3 LAwave 2G in der Ausführung als kompaktes Tischgerät für Forschung und Entwicklung. Das Prinzip des feststehenden Probentisches erlaubt nun auch eine Anpassung an große Bauteile und Prüfkörper.

Gemessene und berechnete Dispersionskurven für die Materialsysteme Si (schwarz), Cr/Si (grün), ta-C/Si (blau) und verschiedene Varianten für ta-C/Cr/Si (rot) sowie die daraus ermittelten Materialkennwerte.



4

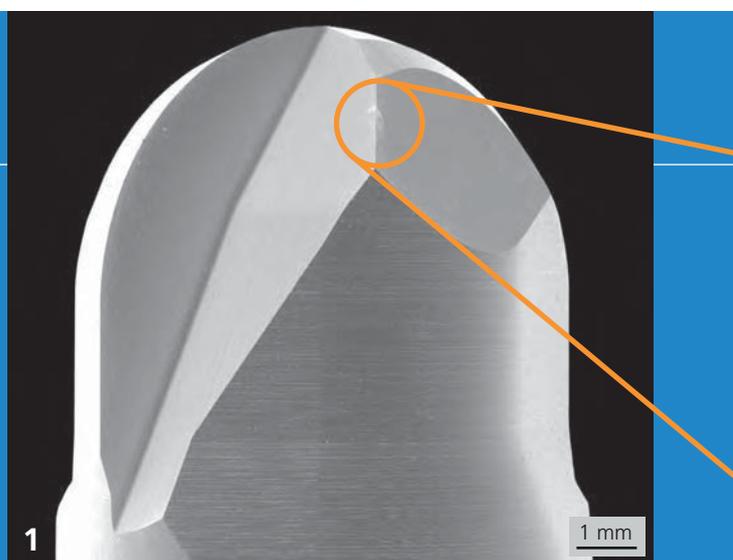
KONTAKT

Dipl.-Ing. Martin Zawischa

+49 351 83391-3096

martin.zawischa@iws.fraunhofer.de





SCHARFE KANTEN DURCH BESCHICHTEN

DIE AUFGABE

Die industrielle Abscheidung von dünnen Schichten ist bereits seit Jahren weitverbreitet. Anwendung finden solche mit PVD- und CVD-Verfahren hergestellten Schichten bspw. als Verschleißschutz-, dekorative und reibungsmindernde Schichten. Die konturgetreue Beschichtung komplexer Geometrien, wie z. B. von Werkzeugen (Abb. 1), ist dabei nach wie vor eine Herausforderung. Aufgrund dessen werden die industriell gängigen Schichten typischerweise in Dicken von wenigen Mikrometern abgeschieden, da in diesem Dickenbereich z. B. die Kantenverrundung (Abb. 2, oben) durch die aufgewachsene Schicht noch keine Rolle spielt.

Ließen sich komplexe Geometrien konturgetreu beschichten, so wäre auch ein Einsatz dickerer Schichten möglich, welche eine weitaus bessere Schutzwirkung bieten würden. Monolagige Schichtsysteme, wie z. B. TiN, CrN, AlTiN bzw. AlCrN eignen sich bisher nicht für diese Beschichtungsaufgaben. Deshalb werden am Fraunhofer IWS Dresden in Kooperation mit der TU Dresden neue Beschichtungskonzepte und geeignete Beschichtungsprozesse dafür entwickelt und erprobt.

UNSERE LÖSUNG

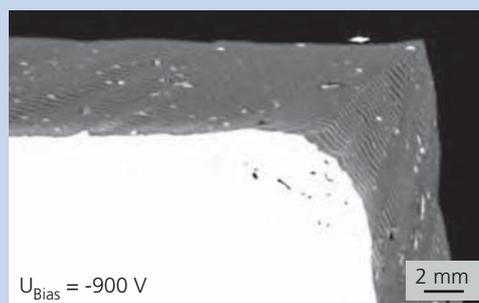
Schwerpunkt der Forschungsarbeiten am IWS ist die Entwicklung von Beschichtungsprozessen, mit denen eine bessere Schutzwirkung erreicht wird und komplexe Bauteile mit kantengetreuer und über das Bauteil gleichbleibender Schichtdicke beschichtet werden können.

Eine Verbesserung der Schichteigenschaften wird üblicherweise durch das Anlegen einer elektrischen Substratvorspannung (Biasspannung) erreicht. Bei kompliziert geformten Bauteilen

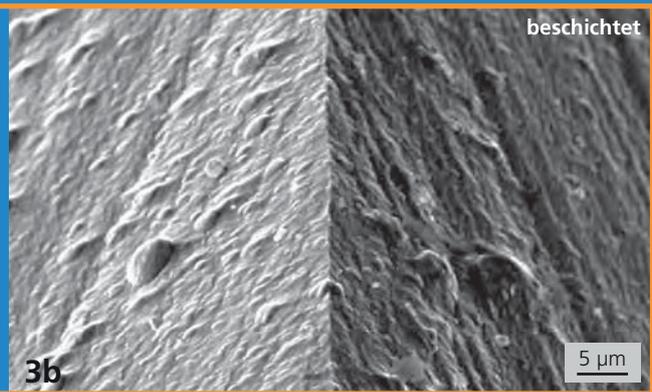
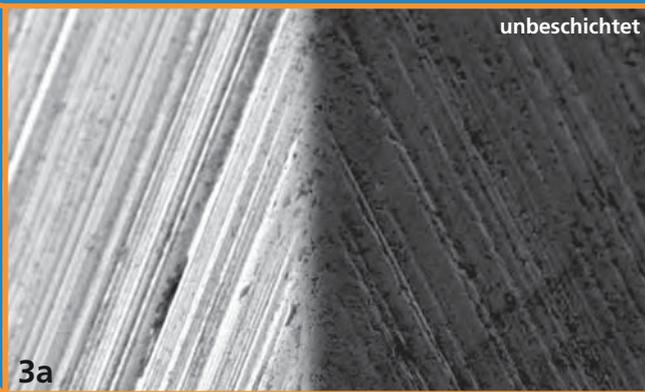
führt die zusätzlich angelegte elektrische Substratvorspannung jedoch zu einer ungleichmäßigen elektrischen Feldverteilung, welche zu unterschiedlichen Schichtdicken entlang der Kontur führt.

Durch Optimierung des Beschichtungswerkstoffes ist es möglich, unterschiedliche Schichtdicken aufgrund unterschiedlicher Abscheideraten zu vermeiden. Mit dem im IWS entwickelten Schichtsystem AlCrSiN/TiN kann der typische Effekt der Kantenverrundung an Schneidkanten durch die Beschichtung nicht nur vermieden, sondern bei Bedarf sogar eine zusätzliche Kantenschärfung erreicht werden (Abb. 2, unten).

Querschliff einer Monolagenschicht, abgeschieden ohne Biasspannung (oben) und einer Mehrlagen-Hartstoffschicht, abgeschieden bei hoher Biasspannung (unten)



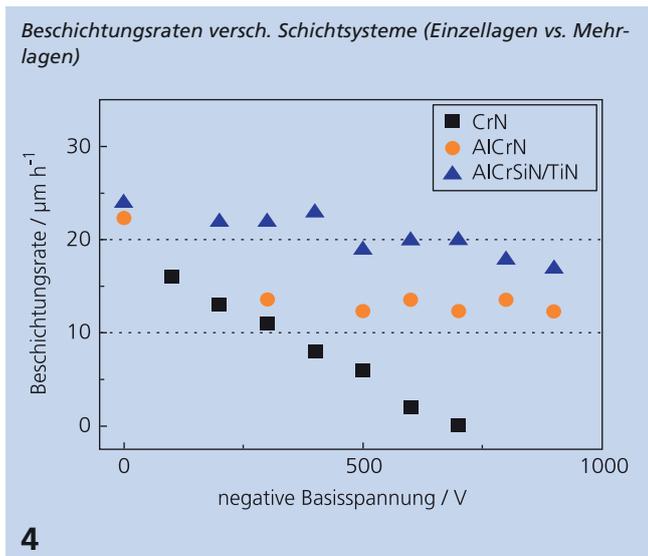
2



ERGEBNISSE

REM-Aufnahmen (Abb. 3) zeigen die Kanten einer Schneide im unbeschichteten sowie im beschichteten Zustand. Im Gegensatz zur verrundeten unbeschichteten Kante führt die Beschichtung mit dem AlCrSiN/TiN-Schichtsystem zu einer Schärfung der Kante.

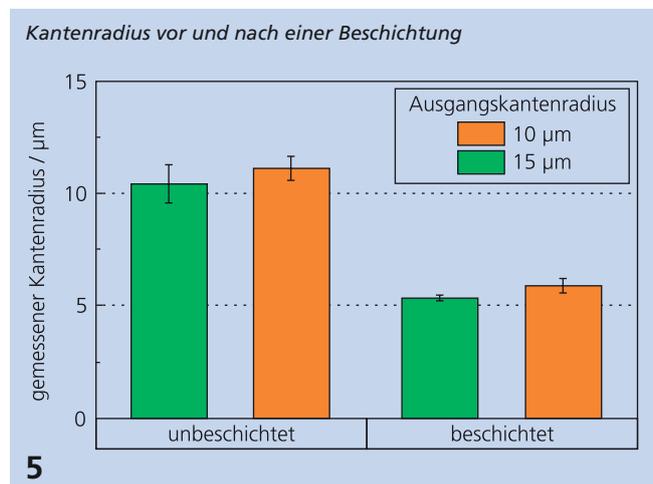
Aufgrund der komplex geformten Geometrie einer Werkzeugschneide führen Feldeffekte bei der Beschichtung mit Biasspannung und herkömmlichen Schichtsystemen häufig zu Wachstumsdefekten an den Schneidkanten, z. B. zu ungleichmäßiger Kantenbedeckung. Das Schichtsystem AlCrSiN/TiN weist jedoch über einen weiten Bereich der Biasspannung nur geringe Änderungen der Beschichtungsrate auf (Abb. 4). Somit können auch komplexe Geometrien mit während der Beschichtung auftretenden Feldeffekten gleichmäßig beschichtet werden. Damit ergeben sich neue Möglichkeiten der Beschichtung besonders beanspruchter Kanten.



4

Darüber hinaus ist auch die Überwindung der Kantenverrundung bis hin zu einer gezielten Kantenschärfung bei der Beschichtung komplexer Geometrien gelungen (siehe Abb. 2 und 3).

Mittels optischer Kantenvermessung konnte nachgewiesen werden, dass sich der Kantenradius nahezu unabhängig vom Ausgangsradius der Schneidkanten mithilfe des am Fraunhofer IWS entwickelten Beschichtungsprozesses deutlich senken lässt (Abb. 5).



5

Die Kantenschärfe wird somit nicht mehr nur durch die Ausgangskontur des unbeschichteten Werkzeuges bestimmt, sondern kann durch Wahl der Beschichtungsparameter anwendungsgerecht eingestellt werden. Darüber hinaus ergibt sich die Möglichkeit, auch wesentlich dickere Schichten als bisher zu verwenden, da die schichtdickenabhängige Zunahme des Kantenradius keine Rolle mehr spielt.

- 1 Ansicht einer Werkzeugschneidkante
- 3 Kante eines unbeschichteten (a) und eines beschichteten Werkzeugs (b)

KONTAKT

Dipl.-Ing. Tim Krülle

+49 351 83391-3179

tim.kruelle@iws.fraunhofer.de





EUV-SPIEGELSCHICHTEN FÜR DIE 7 NM LITHOGRAFIE

DIE AUFGABE

Verschiedene Halbleiterfirmen belichten mittels EUV-Lithografie bereits deutlich mehr als 1000 Wafer pro Tag. Damit wird es zunehmend nicht nur aus technischen sondern auch aus ökonomischen Gründen sinnvoll, diese »ungewohnte« Vakuumtechnologie in der Mikroelektronik einzuführen.

In allen fotolithografischen Anordnungen nimmt die jeweilige Optik eine Schlüsselrolle ein. Im Falle der EUV-Lithografie erfolgt die Abbildung der Maskenstruktur auf den Wafer mit Hilfe von Spiegeln (Abb. 1). Die darauf aufgebrachtten Reflexionsschichten müssen höchste Anforderungen hinsichtlich Reflexionsgrad, Glattheit, Präzision der lateralen Dickenverteilung und Eigenspannungsarmut aufweisen. Dabei nehmen die Anforderungen mit jeder weiteren Strukturverkleinerung zu, sodass eine kontinuierliche Verbesserung der Schichteigenschaften weiterhin notwendig ist.

Im Rahmen des von der Fa. ASML koordinierten europäischen Forschungsprojektes SeNaTe (Seven Nanometer Technology) ist das IWS für die Erforschung von EUV-Reflexionsschichten für zukünftige Lithografieoptiken verantwortlich. Die vordringlichsten Herausforderungen mit Bezug zur Schichtentwicklung sind dabei die folgenden:

- Verringerung des Streulichts der Reflexionsschichten
- Entwicklung von hochpräzisen Freiformbeschichtungen
- Reduzierung der Schichteigenspannungen bei gleichbleibender optischer Performanz

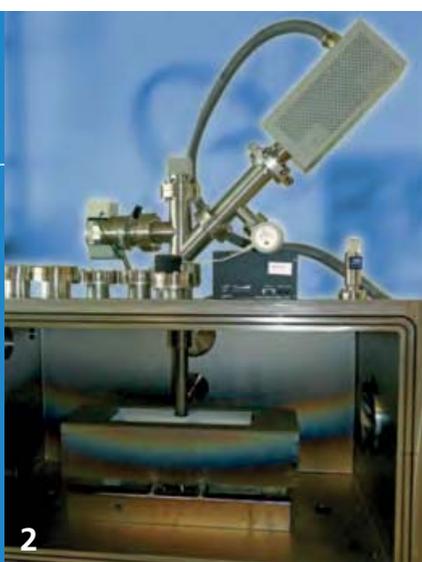
Die besondere Herausforderung ist es dabei, einen Beschichtungsprozess zu erarbeiten, der die Herstellung von EUV-Reflexionsschichten ermöglicht, die gleichzeitig hochreflektierend, streulicht- und eigenspannungsarm sind.

UNSERE LÖSUNG

Mit der Magnetron-Sputter-Deposition (MSD) steht im IWS ein industriell erprobtes Verfahren zur Verfügung, das bereits seit mehreren Jahren für die Erforschung von EUV-Reflexionsschichten genutzt wird. Die Schichteigenschaften werden dabei neben den Vakuumbedingungen vor allem von den kinetischen Energien der am Substrat auftreffenden Teilchen bestimmt. So kann eine Verringerung der Schichtrauheit z. B. durch eine Erhöhung der mittleren kinetischen Energie der schichtbildenden Teilchen erreicht werden. Diese Aktivierung muss jedoch genau dosiert erfolgen, um jegliche Durchmischung der Materialien an den Grenzflächen zu vermeiden und um eine Verstärkung der sich typischerweise ausbildenden Druckeigenspannungen zu verhindern.

Um präzise Informationen über die Verteilung der kinetischen Energien in Abhängigkeit von den Beschichtungsparametern zu erhalten, wurde ein Plasmamonitor des Typs EQP 500 am Beschichtungsort positioniert (Abb. 2). Dies ermöglicht die Vermessung der Energieverteilungen sowohl von geladenen als auch von Neutralteilchen.

Mit Standardprozessen werden Energieverteilungen nachgewiesen, wie sie typisch sind für Magnetronplasmen. Eine Schichtrauheit von $< 0,1$ nm rms lässt sich damit jedoch nicht erreichen. Darüber hinaus zeigt sich bei Oberflächen, die stärker als 30 Grad geneigt sind, eine deutliche Rauheitszunahme und eine Änderung des Eigenspannungszustandes. Daher wurde eine Aktivierung des Beschichtungsprozesses eingeführt, bei der die Energieverteilung zu höheren Energien verschoben ist.



Bei Anwendung derartiger Aktivierungsprozesse besteht jedoch die Gefahr, neben der gewünschten Glättungswirkung auch eine verstärkte Durchmischung der Schichten an den Grenzflächen zu erhalten. Durch Ausbalancierung der verschiedenen oben genannten Zielkriterien ließ sich jedoch ein Parametersatz für Entladungsleistung, Sputtergasdruck und Ionenaktivierung finden, bei der eine deutliche Verbesserung der Schichteigenschaften erreicht wurde.

ERGEBNISSE

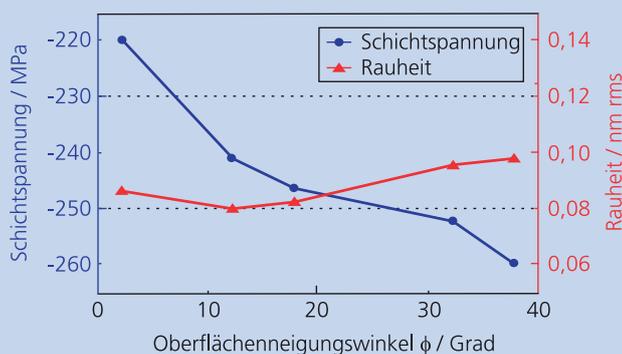
Die erhöhten kinetischen Energien der auf das Substrat treffenden Teilchen resultieren zunächst in den gewünschten glatteren Schichten: Die mittels Rasterkraftmikroskopie vermessene Rauheit liegt nun im Bereich von 0,06 – 0,10 nm rms. Die unteren Grenzwerte der Rauheit werden dabei mit ebenen Substratoberflächen erreicht. Bei konkav gekrümmten Oberflächen mit Neigungswinkeln von 40 Grad gegenüber dem einfallenden Teilchenstrom liegt die Rauheit bei rund 0,10 nm rms.

Die verringerte Rauheit führt zunächst direkt zu einer Reduzierung des diffus vom Spiegel reflektierten Lichts. Bei Abbildungsoptiken führt dies zu einem verbesserten Signal-Untergrund-Verhältnis, d. h. zu einem erhöhten Bildkontrast.

Darüber hinaus ist es gelungen, die zunächst durch die Plasmaaktivierung verursachte stärkere Durchmischung an den Grenzflächen zu reduzieren. So konnte auch die spekulare Reflexion der Spiegel erhöht werden. Unabhängig voneinander wurden Reflexionsgrade > 70,5 Prozent ($\lambda = 13,5$ nm, $\alpha = 5$ Grad) sowohl von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) als auch vom Berkeley National Lab (BNL) reproduzierbar nachgewiesen. Der bisherige Rekordwert liegt bei $R = 70,7$ Prozent.

Ein möglicherweise negativer Begleiteffekt der Plasmaaktivierung kann eine ungewünschte Erhöhung der Druckeigenspannungen der Schichten sein. Diese Erwartung bestätigte sich in den ersten Untersuchungen: Die bei Standardbeschichtungen üblichen Druckeigenspannungen von -200 MPa bis -250 MPa wurden deutlich überschritten und lagen in der Region von -300 MPa bis -650 MPa. Durch gezielte Anpassung der Aktivierung sowohl hinsichtlich Intensität als auch hinsichtlich Dauer ließ sich eine verstärkte Ausbildung der Eigenschaften vermeiden ohne die gewünschte Glättungswirkung zu verringern. Mit dieser Konfiguration lassen sich Schichten mit Eigenspannungen im Bereich von -220 MPa bis -260 MPa und Rauheit < 0,1 nm rms herstellen. Diese Werte sind auf großen Substraten mit Durchmesser von 300 mm und auf stark gekrümmten Substraten mit lokalen Oberflächenneigungen von bis zu 40 Grad erreichbar (Abb. 3).

Rauheit und Eigenspannungen auf konkav gekrümmten Substratoberflächen in Abhängigkeit von der Oberflächenneigung.



3

- 1 Fotografie eines EUV-Spiegels
- 2 Aufbau zur Energiebestimmung mit dem Plasmamonitor EQP 500

KONTAKT

Dr. Stefan Braun

+49 351 83391-3432

Stefan.Braun@iws.fraunhofer.de





METALLISCHE BIPOLARPLATTEN – KOMPAKT, PREISWERT, LANGZEITSTABIL

DIE AUFGABE

Bei der Nutzung regenerativer Energien stellt sich häufig die Frage nach Möglichkeiten der Energiespeicherung. Eine Lösung dafür könnte die Herstellung von Wasserstoff aus Energieüberschüssen und Lagerung desselben sein. Statt den Wasserstoff zu lagern oder durch weitere Prozesse in Erdgas zu verwandeln, könnte man ihn auch direkt zum Antrieb von Fahrzeugen nutzen und den Ausbau der Elektromobilität beschleunigen.

In einer Brennstoffzelle wird Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser umgesetzt und die entstehende elektrische Energie für den Antrieb genutzt (Abb. 1). Aktuell weisen Fahrzeuge mit Brennstoffzellen eine Reichweite von ca. 600 km auf. Der Tankvorgang ist vergleichbar mit einem konventionellen Fahrzeug. Ein spezielles Tankstellennetz ist somit nicht erforderlich.

Neben der Membran-Elektrodeneinheit ist die Bipolarplatte (BiP) wesentlicher Bestandteil der Brennstoffzelle. Die BiP muss als Komponente der Brennstoffzelle die Zufuhr von Wasserstoff und Sauerstoff, die Abfuhr von Wasser und die Kühlung übernehmen. Zudem nimmt die BiP auf der Wasserstoffseite die abgegebenen Elektronen auf und führt sie, nachdem sie im Antrieb Arbeit verrichtet haben, auf der Sauerstoffseite wieder zu. Daher muss das Material der BiP eine hervorragende elektrische Leitfähigkeit besitzen, die sich trotz der elektrochemischen Vorgänge in der Brennstoffzelle nicht signifikant verringert.

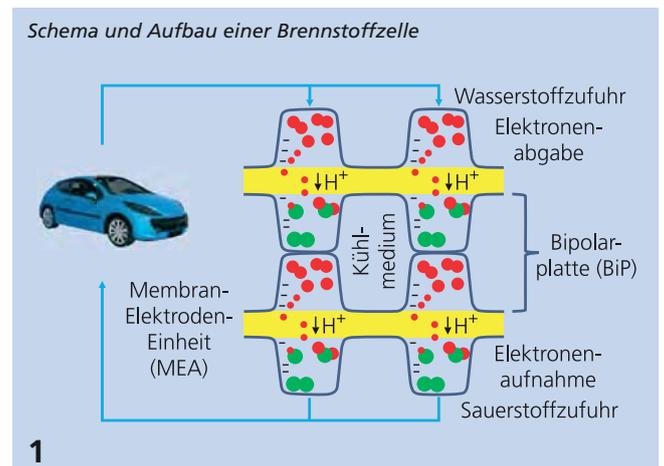
Die Aufgabe besteht also darin, eine für den Massenmarkt taugliche, kompakte, langzeitstabile und preiswerte BiP zu entwickeln.

UNSERE LÖSUNG

Während bei Anwendungen mit ausreichend Bauraum Graphit als BiP-Material zum Einsatz kommt, werden im Automobilbereich wegen des meist geringen Bauraumes und des hohen Kostendruckes ca. 0,1 mm dünne, tiefgezogene Edelstahlbleche als BiP-Material bevorzugt. Diese werden bisher standardmäßig mit Gold beschichtet, da die natürliche Passivschicht des Edelstahls den Strom nur schlecht leitet. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes mini BIP (Förderkennzeichen 03ET045A) wurden am Dortmunder Oberflächenzentrum, einer Außenstelle des Fraunhofer IWS Dresden, zwei alternative Schichtsysteme entwickelt und geprüft:

- PNC (plasmanitrocarburierte Oberflächen)
- GLC (graphitische Kohlenstoffschichten)

Die Schichten sollen einerseits vergleichbare Kontaktwiderstände wie eine Goldbeschichtung aufweisen. Andererseits muss die Haftfestigkeit der Schichten so hoch sein, dass fertig beschichtete Glattbleche ohne Beschädigung zu BiP umgeformt werden können.





ERGEBNISSE

Im Rahmen des Projektes wurden beide Oberflächenmodifikationsverfahren an verschiedenen Edelstählen im Hinblick auf eine hohe Korrosionsbeständigkeit und einen niedrigen Kontaktwiderstand optimiert (Abb. 2). Im Ergebnis erreichen beide Schichtsysteme den Kontaktwiderstand der goldbeschichteten Bleche. Gegenüber dem unbehandelten Grundwerkstoff wurde eine deutliche Verbesserung des Korrosionsverhaltens nachgewiesen.

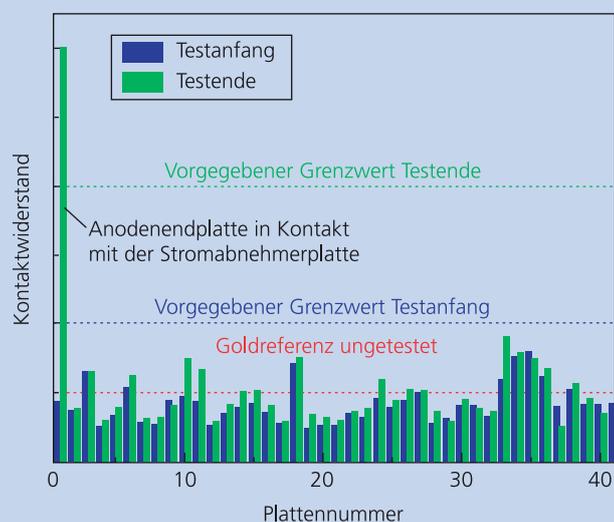
Die besten Ergebnisse hinsichtlich des Kontaktwiderstandes zeigten GLC-Schichten mit einer Schichtdicke kleiner 100 nm. Sie wurden mit dem gepulsten Vakuumbogen in einer Minute in Zweifachrotation abgeschieden. Vergleichbar gute Werte konnten durch sequentielles Plasmanitrocarburieren (ca. 15 Minuten) erzeugt werden. Die Dicke der mit Stickstoff und Kohlenstoff angereicherten Randzonen liegt unter 5 µm. Beide Verfahren können für eine etwaige Massenfertigung auch in Bandbeschichtungsanlagen durchgeführt werden.

Zum Projektabschluss wurde vom Projektpartner (Daimler AG) ein aus 40 Zellen bestehender Brennstoffzellenstack als Demonstrator aufgebaut. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse vor und nach Betrieb des Stacks. Bis auf die fehlerhafte Anodenplatte lagen die Kontaktwiderstände aller BiP vor und nach dem Test im Bereich der nicht belasteten Goldreferenz. Sie liegen dabei ca. einen Faktor 3 unterhalb der Anforderungen nach Testende. GLC-Schichten lagen bei Tests mit einer früheren Testgeometrie am Testende etwa einen Faktor 2 unterhalb des geforderten Grenzwertes.

Bei Stacktests mit erst oberflächenbehandelten und dann umgeformten Blechen, die mittels Ritztest lokal geschädigt wurden, konnte die Anforderungen am Testende ebenfalls für beide Oberflächenmodifikationen erreicht werden. Selbst bei beschädigten Oberflächen kam es zu keinen Korrosionserscheinungen.

2 *Musterbauteil mit Umformelementen einer metallischen Bipolarplatte*

Kontaktwiderstände der PNC behandelten BiP in einem aus 40 Zellen bestehenden Brennstoffzellenstack nach 1000 h Test (Testergebnisse der Daimler AG)



3

KONTAKT

Dr. Axel Zwick

+49 351 83391-3512

axel.zwick@ivs.fraunhofer.de





VERBESSERUNG DER VERKEHRSSICHERHEIT DURCH ANTIREFLEXIONSSCHICHTEN

DIE AUFGABE

Lichtreflexionen auf Glasoberflächen können zu erheblichen Sicherheitsrisiken im Straßenverkehr führen. Besonders betroffen sind Windschutzscheiben von Transit- und Stadtbussen. Durch deren vertikale Einbauweise in Verbindung mit der Innenbeleuchtung des Fahrgastraums kann es zu Sichtbeeinträchtigungen des Fahrers kommen mit Unfallfolge. Allein in den Vereinigten Staaten von Amerika gibt es jährlich 25.000 bis 30.000 Verletzte durch Unfälle mit Busbeteiligung, davon circa 1 Prozent mit tödlichem Ausgang.

Reflexionen treten auf, wenn Licht an den Grenzflächen von Medien mit unterschiedlichen Brechungsindizes zurückgeworfen wird. Der Brechungsindex (n) von Luft liegt beispielweise bei ungefähr 1 im Vergleich zu Glas ($n \sim 1,5$).

Durch das Aufbringen dünner Schichten werden zusätzliche Grenzflächen geschaffen, die zu einer Phasenverschiebung und Abschwächung, bzw. Auslöschung optischer Wellen führen kann. Mittels gezielter Anpassung von Brechungsindex und Schichtdicke lassen sich so anwendungsbezogene Antireflexions (AR) – Beschichtungen erzeugen.

UNSERE LÖSUNG

Herkömmliche Antireflexionsschichten, wie beispielsweise für optische Filter, bestehen oft aus komplexen Multilagen- Schichtsystemen. In Zusammenarbeit mit einem Industriepartner in Grand Rapids, Michigan USA, hat das Fraunhofer USA Center for Coatings and Diamond Technologies CCD ein deutlich vereinfachtes und kosteneffizientes Schichtsystem entwickelt.

Das Schichtkonzept basiert auf Minimierung der Reflexion im mittleren Wellenlängenbereich des sichtbaren Spektrums (550 nm). Um minimale Reflexionen zu erreichen, muss die Schicht einen mittleren Brechungsindex zwischen den angrenzenden Medien annehmen.

$$n_{AR} = \sqrt{(n_{\text{Medium 1}} \times n_{\text{Medium 2}})}$$

Für das Beispiel Glas – Luft wäre somit ein Brechungsindex von weniger als 1,3 notwendig. Materialien in diesem Bereich sind ausschließlich Salze, die sich nicht als beständige Dünnschichten eignen. Aus diesem Grund wird zunächst eine Schicht mit einer Brechzahl größer als Glas aufgebracht, gefolgt von einer zweiten Schicht, deren Brechzahl das Mittel zu Luft bildet. Das am CCD entwickelte Schichtsystem basiert auf diesem Konzept mit Aluminiumoxid (Al_2O_3 , $n \sim 1,7$) und Indium-Zinnoxid (ITO, $n \sim 2,0$) zur schrittweisen Anhebung des Brechungsindex, gefolgt von einer fluorierten diamantähnlichen Kohlenstoffschicht (F-DLC, $n \sim 1,4$) als Antireflexionsschicht.

Möglichst einfache Beschichtungsverfahren wurden angewandt mit der Zielsetzung der Skalierbarkeit auf Windschutzscheiben. Beide Metalloxide wurden mittels gepulstem DC Magnetron-Sputtern hergestellt. Die Abscheidung von Al_2O_3 erfolgte reaktiv von einem metallischen Target (99,99 Prozent Al), während ITO von einem keramischen Target ($\text{In}_2\text{O}_3/\text{SnO}_2$ 90/10 Gew. Prozent) abgeschieden wurde. Die F-DLC Schichten wurden mit einer linearen Ionenquelle erzeugt mit einem Gasgemisch aus Ar, C_2H_2 , H_2 und CF_4 .

2



ERGEBNISSE

Die Entwicklung des auf F-DLC und Metalloxiden basierenden Antireflex-Schichtkonzeptes wurde durch das Verkehrsministerium der USA im Rahmen eines Förderprogrammes für kleine und mittelständische Unternehmen finanziert. Die am Fraunhofer CCD beschichteten Segmente aus Windschutzscheibenglas wurden am Transportation Research Institute der University of Michigan (UMTRI) hinsichtlich Reflexion und Transmission vermessen.

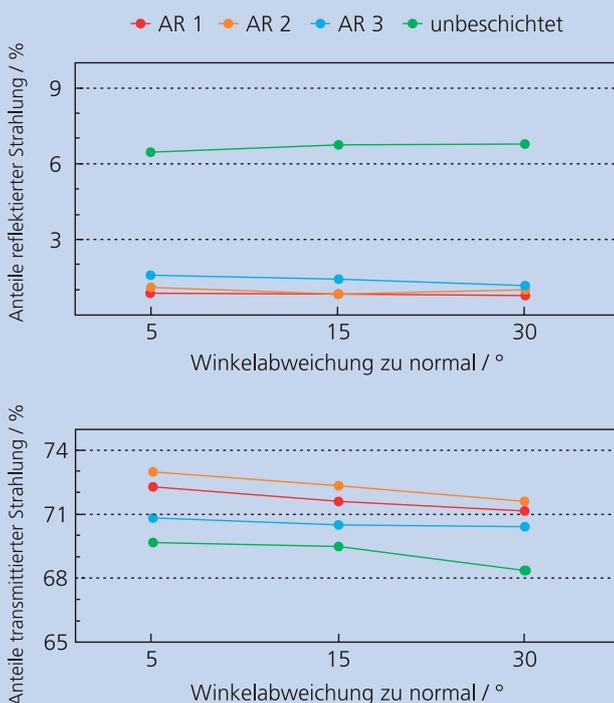
Abbildung 2 verdeutlicht den Effekt der AR-Beschichtung anhand einer halbseitig beschichteten Glasscheibe. Die Blendwirkung des Sonnenlichtes ist dramatisch reduziert und Details hinter der beschichteten Seite lassen sich deutlich besser erkennen.

Die Messungen am UMTRI wurden in einer Dunkelkammer mit Hilfe einer elektrischen Lichtquelle durchgeführt. Die Daten wurden unter 3 verschiedenen Winkeln aufgenommen (5 °, 15 ° und 30 ° zu Normal) um das Sichtfeld des Busfahrers möglichst gut zu simulieren. Durch die Beschichtung des Automobilglases mit F-DLC konnte die Reflexion von nahezu 7 Prozent auf weniger als 1 Prozent reduziert werden (Abb. 3, oben).

Ebenfalls konnte nachgewiesen werden, dass die Transparenz des Glases durch die Dünnschichten nicht beeinträchtigt wird (Abb. 3, unten). Vielmehr konnte in allen Fällen eine leichte Zunahme registriert werden, was auf die reduzierte Brechung zurückgeführt werden kann. Für die Anwendung im Straßenverkehr bedeutet diese Ergebnisse mindestens 10 m mehr Sichtweite für den Fahrer, um Gefahren rechtzeitig zu erkennen und Unfälle zu vermeiden.

- 1 Sichtbeeinträchtigung durch Reflexionen auf der Windschutzscheibe
- 2 Glas mit AR-Beschichtung auf der rechten Hälfte (linke Hälfte unbeschichtet)

Anteile reflektierter (oben) und transmittierter (unten) Strahlung auf Windschutzscheibenglas mit und ohne Antireflexbeschichtung



3

KONTAKT

Dipl.-Ing. Lars Haubold

+1 517 432 8179

lhaubold@fraunhofer.org



KOHLENSTOFFSCHICHTEN MIT DEM LASER-ARC-VERFAHREN – VERSCHLEISSFEST UND ENERGIEEFFIZIENT



UWE HEYDENREICH

Geschäftsführer
VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH



PROF. ANDREAS LESON

Geschäftsfeldleiter PVD- und Nanotechnik
Fraunhofer IWS

Redaktion: Herr Heydenreich, die Zusammenarbeit zwischen der VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH und dem Fraunhofer IWS kann bereits auf eine langjährige Tradition zurückblicken. Was waren für VTD die ausschlaggebenden Gründe, die Zusammenarbeit mit dem Institut zu suchen?

Herr Heydenreich: In der Tat gibt es bereits seit den 80er-Jahren eine sehr gute Zusammenarbeit zwischen der VTD und dem IWS. Für uns waren in erster Linie das profunde Know-how des IWS sowie die langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Dünnschichttechnik und der Plasmaquellen ausschlaggebend für eine enge Kooperation.

Redaktion: Welche Märkte adressieren Sie gemeinsam mit dem IWS?

Herr Heydenreich: Momentan steht die Abscheidung superharter Kohlenstoffschichten, sogenannter ta-C-Schichten, ganz klar im Fokus unserer gemeinsamen Aktivitäten. Diese Schichten zeichnen sich durch eine sehr hohe Härte sowie extrem günstige Reibungseigenschaften aus. Das prädestiniert sie für einen Einsatz beispielsweise in Verbrennungsmotoren, da sie zu einer deutlichen Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und damit des CO₂-Ausstoßes beitragen. Von daher gibt es derzeit ein sehr hohes Interesse seitens der Automobilindustrie und der Zulieferer. Aber auch für den Werkzeugmarkt sowie generell für den Maschinenbau sind diese Schichten außerordentlich attraktiv. So haben sich bei der Zerspaltung von abrasiven Verbundwerkstoffen wie auch von Nichteisenmetallen sehr deutliche Vorteile beim Einsatz von ta-C-Schichten gegenüber



den etablierten Hartstoffschichten gezeigt. Wir erwarten daher auch in diesem Sektor ein zunehmendes Interesse an diesen Schichten und damit verbunden an der entsprechenden Anlagentechnik.

Redaktion: Was ist der augenblickliche Stand der Entwicklung und gibt es weitere Entwicklungsziele, die Sie sich gemeinsam mit dem Institut gesetzt haben?

Herr Heydenreich: Derzeit haben wir mit dem Laser-Arc-Modul, dessen Basis beim IWS entwickelt wurde, und unserer eigenen Anlagentechnik eine sehr gute Basis geschaffen, um Kundenwünsche hinsichtlich einer produktiven und zuverlässigen Abscheidung von superharten ta-C-Schichten bedienen zu können. Für die weitere Industrialisierung entwickeln wir derzeit gemeinsam die Grundlage für eine Aufskalierung der Technologie, um zukünftig noch produktiver und damit kostengünstiger beschichten zu können. Aber auch die weitere Entwicklung der gefilterten Beschichtung, die die Abscheidung glatter ta-C-Schichten erlaubt, ist für viele Anwendungen unabdingbar und soll weiter verbessert werden.

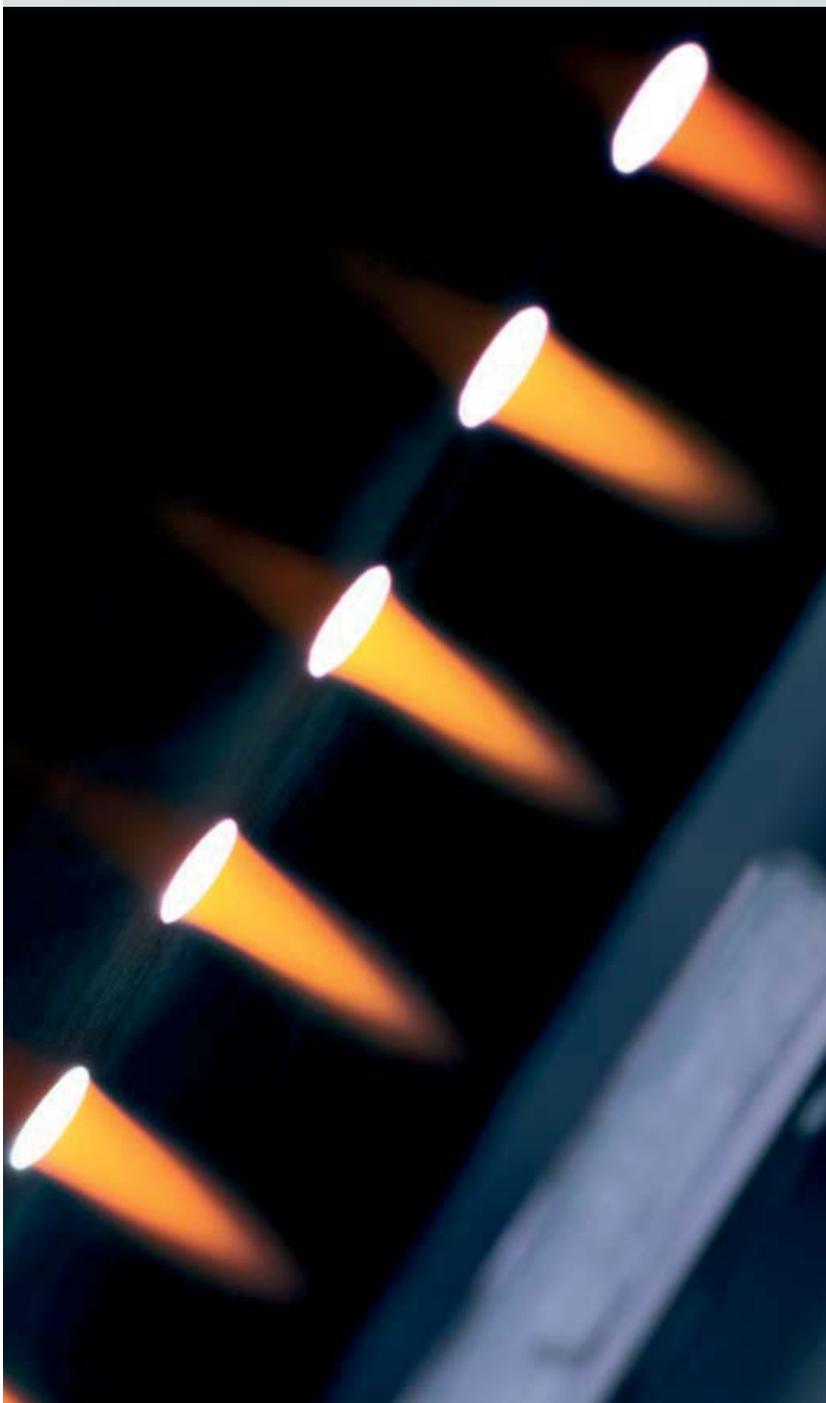
Redaktion: Was schätzen Sie an der Zusammenarbeit mit dem Partner ganz besonders?

Herr Heydenreich: In der Zusammenarbeit mit dem IWS schätzen wir insbesondere das professionelle und strukturierte Vorgehen der IWS-Mitarbeitenden bei unseren gemeinsamen Projekten. Dieses reicht von der Projektplanung und Projektabwicklung bis hin zur Unterstützung bei der Inbetriebnahme

beim Kunden und der Unterstützung bei eventuell auftretenden Problemen. Die IWS-Mitarbeitenden zeichnen sich dabei durch hohe Einsatzbereitschaft und Flexibilität aus, so dass wir stets gerne mit dem Institut zusammenarbeiten.

Herr Prof. Leson: Für unsere Arbeitsgruppe ist vor allem die offene und freundschaftliche Kommunikation mit den Mitarbeitenden bei VTD sehr angenehm. Dadurch gestalten sich notwendige Abstimmungsprozesse sehr effizient und unkompliziert und ermöglichen so eine effektive Projektabwicklung. Dies gilt sowohl für die öffentlich geförderten Projekte, in denen wir seit mehr als 10 Jahren partnerschaftlich zusammenarbeiten, wie auch für direkte Industrieprojekte.

CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND REAKTIONSTECHNIK



Redaktion: Herr Prof. Kaskel, in einer Stellungnahme des Bundesrates wird explizit das Ziel geäußert, spätestens ab dem Jahr 2030 in der Europäischen Union nur noch emissionsfreie PKW zuzulassen. Fühlen Sie sich in Ihrer Strategie bestätigt?

Prof. Kaskel: In der Tat stehen wir hier vor neuen globalen Herausforderungen. Es scheint, die Elektromobilität ist auf dem Vormarsch. Natürlich sind derartige Ankündigungen und konkrete Jahreszahlen mit Vorsicht zu genießen und erscheinen in Deutschland wenig realistisch. Auf der anderen Seite sieht man, dass in Asien, insbesondere in China, durch neue Gesetzesinitiativen sehr schnell ein Umsteigen von benzin- oder dieselgetriebenen Fahrzeugen hin zu Elektroautos erfolgen kann. Die steigende Umweltverschmutzung und unzumutbaren Lebensumstände in den Großstädten führen zwangsweise zu solchen Entwicklungen.

Redaktion: Welche besonderen Beiträge werden dazu am IWS geleistet?

Prof. Kaskel: Das Fraunhofer IWS fokussiert sich seit vielen Jahren auf die Entwicklung von schwefelbasierten Batterien. Nach unserer Meinung ist dies die vielversprechendste Batterietechnologie der nächsten Generation, da hier bereits gravimetrische Speicherdichten erzielt wurden, die traditionelle Lithium-Ionen-Batterien um mehr als 100 Prozent übertreffen. Natürlich bieten wir mit dem Trockenverarbeitungsverfahren auch ein generisches Verfahren für andere Batterietechnologien an.

Redaktion: Das heißt, Sie setzen auch auf die klassischen Lithium-Ionen-Batterien?

»Die Ökonomie ist die einzige Wissenschaft, in der sich zwei Menschen einen Nobelpreis teilen können, weil ihre Theorien sich gegenseitig widerlegen.«

Joseph E. Stiglitz



GESCHÄFTSFELDLEITER

PROF. STEFAN KASKEL

☎ +49 351 83391-3331

✉ stefan.kaskel@iws.fraunhofer.de

Prof. Kaskel: Ja, auch hier besteht noch erhebliches Entwicklungspotenzial. Sehen Sie sich einmal die neueren Arbeiten zu Siliziumanoden an. Silizium gewinnt dabei sogar als Additiv zu klassischen Graphitanoden mehr und mehr an Bedeutung. Aber auch dünne Kohlenstoffschichten spielen im Bereich der nanostrukturierten Elektrodenmaterialien eine immer größere Rolle.

Redaktion: Kohlenstoff ist ja auch ein besonders leichtes Material.

Prof. Kaskel: Ja, eben, die Kohlefaser ist ein klassisches Beispiel, welches auch im Leichtbau eingesetzt wird. Das IWS verfügt über ein umfangreiches Portfolio im Bereich der Kohlenstoffmaterialien. Nicht nur poröse Kohlenstoffelektroden und dünne Funktionsschichten sondern auch die Vorbehandlung von Kohlefasern wird hier mit Hilfe von neuen Plasmaverfahren entwickelt. Dadurch erreicht man auch hohe Festigkeiten in Verbundwerkstoffen. Für diese Materialien müssen aber auch neue Recyclingverfahren entwickelt werden, welche über die bloße Verbrennung hinausgehen und eine höhere Wertschöpfung durch Rückgewinnung möglichst langer Kohlefasern ermöglichen.

Das Fraunhofer IWS verfügt über ein ganzes Arsenal von unterschiedlichen Kohlenstoffmaterialien, von der Dünnschicht bis hin zur Kohlefaser, von der amorphen Kohlenstoffschicht bis hin zur Diamantstruktur, je nachdem, ob elektrische, mechanische oder andere funktionelle Eigenschaften im Vordergrund stehen.



KOMPETENZEN UND ANSPRECHPARTNER



Dr. Holger Althues, Abteilungsleiter Chemische Oberflächen- und Batterietechnik

☎ +49 351 83391-3476 / ✉ holger.althues@iws.fraunhofer.de

» In der Abteilung Chemische Oberflächentechnik werden Funktionsmaterialien und Beschichtungen für einen breiten Einsatzbereich entwickelt. Neben funktionalen Dünnschichten bilden Elektroden für Energiespeicher dabei einen thematischen Schwerpunkt. Durch die drei Arbeitsgruppen wird die Optimierung der Schlüsselprozesse zur Entwicklung von Batterien der nächsten Generation (insbesondere Lithium- und Natrium-Schwefelzellen) vom Material über Beschichtungsprozesse bis zur Fertigung von Prototypzellen abgedeckt. «



Dr. Susanne Dörfler, Gruppenleiterin Batterie- und Elektrochemie

☎ +49 351 83391-3703 / ✉ susanne.doerfler@iws.fraunhofer.de

» Die Entwicklung maßgeschneiderter Materialien (insbesondere Kohlenstoff- und Silizium-Nanomaterialien) und die elektrochemische Charakterisierung von Batterie-Elektroden stehen im Fokus dieser Arbeitsrichtung. So entstehen die Grundlagen für Lithium- und Natrium-basierte Sekundärbatterien als hochkapazitive Speicher der nächsten Generation. «



Dipl.-Ing. Thomas Abendroth, Gruppenleiter Batterietechnik

☎ +49 351 83391-3294 / ✉ thomas.abendroth@iws.fraunhofer.de

» Verfahren zum Aufbau von Prototyp-Batteriezellen und deren Test bilden den Schwerpunkt dieser Arbeitsrichtung. Lithium-Schwefel-Zellen mit 4 Ah und spezifischen Energien $>300 \text{ Wh kg}^{-1}$ werden gefertigt, erprobt und gruppenübergreifend weiterentwickelt. Eine Prozesslinie zur Batteriezellenfertigung in lokaler Trockenraum-Atmosphäre mit integriertem Remote-Laserstrahlschweißen »on-the-fly« wurde am IWS installiert. «



Dr. Benjamin Schumm, Gruppenleiter Chemische Beschichtungsverfahren

☎ +49 351 83391-3714 / ✉ benjamin.schumm@iws.fraunhofer.de

» Wasserbasierte Beschichtungen und lösungsmittelfreie Prozesse zur Elektrodenherstellung werden für die kostengünstige Fertigung von Doppelschichtkondensatoren und Batterien im Rolle-zu-Rolle-Verfahren entwickelt. CVD- und Flüssigphasen-Verfahren zur Abscheidung von funktionalen Dünnschichten für leitfähige, kratzfeste, optische oder selbstreinigende Oberflächen sind ein weiterer Schwerpunkt der Arbeitsgruppe. «



Dr. Gerrit Mäder, Gruppenleiter Plasmatechnik und Nanomaterialien
☎ +49 351 83391-3262 / ✉ gerrit.maeder@iws.fraunhofer.de



» In der Arbeitsgruppe Plasmatechnik und Nanomaterialien werden großflächige Atmosphärendruck-Plasmaquellen für kundenspezifische Anwendungen entwickelt bzw. angepasst. Als Anwendungsgebiete erschließen sich hierbei die Klebevorbehandlung, der Auftrag von Haftvermittlerschichten sowie der Pulverauftrag mittels Plasmatechnologie. Ein weiteres Arbeitsgebiet ist die Entwicklung von Gasphasenreaktoren für die Herstellung von Nanopartikeln und metallisch leitenden Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT). Speziell zur Synthese von einwandigen, defektarmlen Single-Wall-CNT wurde ein flexibles, kostengünstiges Hochrate-Syntheseverfahren entwickelt. «

Dr. Wulf Grähler, Gruppenleiter Prozess-Monitoring
☎ +49 351 83391-3406 / ✉ wulf.graehler@iws.fraunhofer.de



» Optisch-spektroskopische Verfahren sind ein hervorragendes Werkzeug des Prozess-Monitorings, um industrielle Produktionsprozesse sowie deren Produkte während oder nach der Fertigung zu charakterisieren. Je nach genutzter Methode können relevante Informationen über Prozessatmosphären (Gaszusammensetzung) und Produkteigenschaften (Oberflächen, Schichten, Zusammensetzung, Porosität etc.) berührungslos und hochempfindlich – z. T. sogar lateral aufgelöst – bestimmt werden. Die dabei erhaltenen Ergebnisse können zur automatisierten Überwachung, Steuerung und Optimierung der Prozesse eingesetzt werden. «

BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2016

1. Neue Elektrolytsysteme für Lithium-Schwefel-Akkumulatoren	120
2. Silizumanoden zur Steigerung der Energiedichte von Lithium-Batterien	122
3. Natrium-Schwefel-Batterien für stationäre Energiespeicher	124
4. Strahlungselektive Absorberbeschichtung für Hochtemperaturanwendungen	126
5. Berührungsloser Nachweis von Bioziden an Kulturgütern und Hölzern	128
6. Plasmareinigung zur Trennmittelentfernung von CFK-Oberflächen	130
7. Präzise Bor-Dotierung von einkristallinen Diamanten	132
8. Mobiler Bor-dotierender Diamantsensor für die Analyse giftiger Schwermetalle	134
9. Wasserdampfdurchlässigkeit von Folien mit einem Laser zuverlässig messen	136



NEUE ELEKTROLYTSYSTEME FÜR LITHIUM-SCHWEFEL-AKKUMULATOREN

DIE AUFGABE

Lithium-Schwefel-(Li-S)-Akkumulatoren zeichnen sich durch eine hohe spezifische Energie und geringe Materialkosten im Vergleich zu herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien aus. Die Zellchemie ist daher hochgradig attraktiv für zukünftige, leichte Speicherlösungen, insbesondere zur Steigerung der Reichweite von Elektrofahrzeugen.

Eine enorme Herausforderung stellt allerdings die geringe Lebensdauer der Zellen dar. So erreichen aktuelle Li-S-Prototyp-Zellen zwar eine spezifische Energie von 350 Wh kg^{-1} , degradieren aber innerhalb der ersten 50 Lade-/Entladezyklen deutlich. Ihr Anwendungsfeld blieb daher v. a. auf die Luft- und Raumfahrt begrenzt. Die Einsetzbarkeit in der Elektromobilität ist zum aktuellen Zeitpunkt ausgeschlossen. Eine Erhöhung der Zyklenstabilität beziehungsweise weitere Steigerung der spezifischen Energie auf über 400 Wh kg^{-1} kann das reale Anwendungspotenzial des Zelltyps jedoch in Zukunft deutlich erweitern.

UNSERE LÖSUNG

Für die Weiterentwicklung der Li-S-Technologie ist das Elektrolytsystem eine entscheidende Schlüsselkomponente. Dieses besitzt erheblichen Einfluss auf folgende Zelleigenschaften:

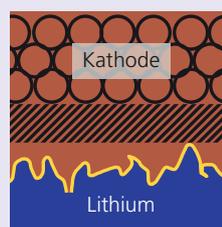
- Energie- und Leistungsdichte: In bisherigen Prototypen entfallen mindestens 40 - 50 Prozent des Zellgewichts auf den Elektrolyt. Da dieser an den Auflösungs- und Umwandlungsreaktionen in der Kathode teilnimmt, ist die Kinetik und Vollständigkeit der Schwefelumwandlung (spez. Kapazität) unmittelbar vom Elektrolytanteil abhängig. Werte kleiner 3 ml Elektrolyt pro Gramm Schwefel sind mit klassischen Konzepten nicht erreichbar.

- Zyklenstabilität: Zersetzungsreaktionen des Elektrolyten an der Oberfläche der Lithiumanoden sind die Hauptursache für Austrocknungs- und Degradationsvorgänge.
- Selbstentladung und Energieeffizienz: Hoch lösliche Reaktionsintermediate (Lithiumpolysulfide) führen zur beschleunigten Selbstentladung und einer geringen Ladeeffizienz (Polysulfid-Shuttle).
- Temperatur und Sicherheit: Elektrolyt-Lösungsmittel definieren den thermischen Einsatzbereich der Li-S-Zelle und ihre Resistenz gegenüber Fehlgebrauch und Entflammbarkeit maßgeblich.

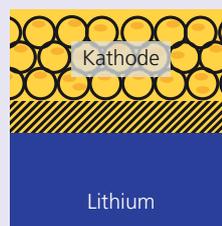
Elektrolytkonzepte für Li-S-Akkumulatoren.

Links: Prinzip; Rechts: Elektrolyt

E1: Intermediär vollständige Löslichkeit der Lithiumpolysulfide.



IWS-Elektrolytsystem mit geringer Lithiumpolysulfid-Löslichkeit.





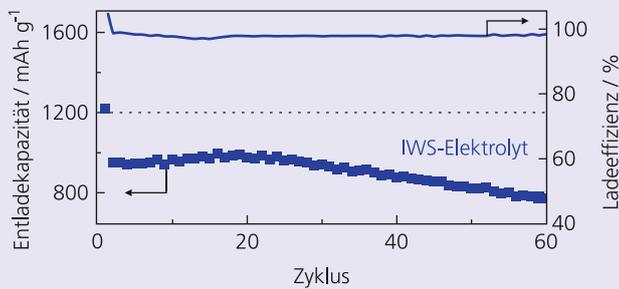
2

Am Fraunhofer IWS werden neuartige Konzepte entwickelt, mit deren Hilfe sich die Grenzen dieser Eigenschaften überwinden lassen. Ein besonders vielversprechender Ansatz ist dabei die Reduktion der Polysulfid-Löslichkeit im Elektrolyt-system durch angepasste Lösungsmittel-Rezepturen. Diese erlauben neben der Unterdrückung des Polysulfid-Shuttles auch ein stärkeres Kompaktieren der Kathodenstruktur. Zusätzlich ist die Formierung von stabilen Schutzschichten auf der Lithiumanode möglich und durch Elektrolytadditive beziehungsweise Co-Lösungsmittel anpassbar (Abb. 1).

ERGEBNISSE

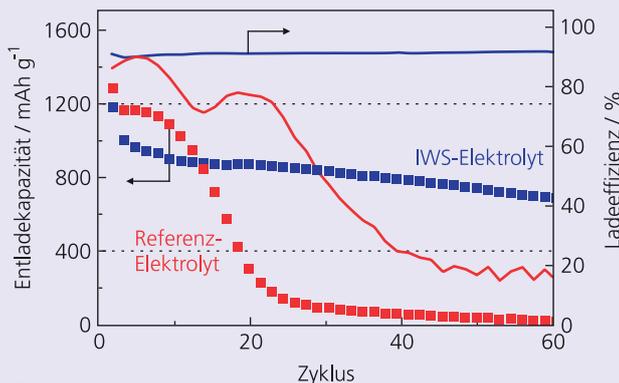
Der am Fraunhofer IWS entwickelte, nicht entflammare Elektrolyt mit geringer Polysulfid-Löslichkeit ermöglicht die Quasi-Feststoff-Feststoff-Umwandlung des Schwefels an der Kohlenstoffoberfläche der Kathode. Im Gegensatz zum etherbasierten Referenz-Elektrolytssystem wird hierdurch das Aktivmaterial effizient in der Kathode zurückgehalten. Die Ladeeffizienz ist aufgrund des unterdrückten Polysulfid-Shuttles hoch, wie Knopfzelleexperimente und Tests in mehrlagigen Lithium-Schwefel-Prototypzellen bestätigen (Abb. 3).

Galvanostatische Messung mit IWS-Elektrolyt ($5,0 \text{ mL g}^{-1}$ -Schwefel) in CR2016-Knopfzelle zeigt hohe Ladeeffizienz und stabile Kapazität.



3

Galvanostatische Messung in IWS-Prototypzelle bestätigt deutliche Steigerung der Zyklenstabilität und Ladeeffizienz mit IWS- ($2,7 \text{ mL g}^{-1}$ -Schwefel) gegenüber Referenz-Elektrolyt ($3,0 \text{ mL g}^{-1}$ -Schwefel).



4

Korrosionsvorgänge an der Lithiumanode werden durch einen stabilen, in-situ abgeschiedenen Oberflächenfilm (Solid-Electrolyte-Interphase) unterbunden. Die Morphologie des abgeschiedenen Lithiums bleibt daher über mehr als 100 Zyklen glatt und feinkörnig. Ein durch unerwünschte Zersetzungsprozesse induziertes Aufblähen der Zellen ist mit IWS-Elektrolyt ausgeschlossen (Abb. 2). Infolge dieser Vorteile wird über 40 – 60 Zyklen eine erhebliche Verbesserung der Zyklenstabilität erzielt. Eine hohe Ausnutzung des Schwefels ist erstmalig auch mit geringen Elektrolytanteilen von $2,7 \text{ mL g}^{-1}$ -Schwefel (< 40 Prozent Zellgewicht) oder weniger möglich.

2 Links: Keine Gasbildung erkennbar bei Prototypzelle nach Zelltest mit neuem Elektrolyt; Rechts: Aufblähen der Zelle mit herkömmlichem Elektrolyt durch Gasbildung nach Zelltest

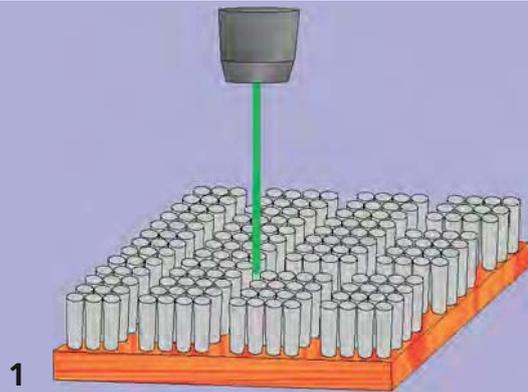
KONTAKT

Dr. Holger Althues

+49 351 83391-3476

holger.althues@iws.fraunhofer.de





1

SILIZIUMANODEN ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEDICHTE VON LITHIUM-BATTERIEN

DIE AUFGABE

Die Erhöhung der Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien ist die Voraussetzung zur Verlängerung der Reichweite von Elektrofahrzeugen. Aufgrund des limitierten Raums im Automobil gilt dabei der Energiedichte pro Volumeneinheit besonderes Augenmerk. Die Substitution der derzeit eingesetzten Graphitanoden durch Silizium bietet das Potenzial diesen Bedarf abzudecken, da sie eine größere Anzahl an Lithium-Ionen pro Gewicht und Volumen speichern können.

Ein Nachteil, der die kommerzielle Anwendung von siliziumbasierten Anoden bisher verhindert hat, ist die Volumenausdehnung von ca. 300 Prozent während der Lithiumeinlagerung. Kompositstrukturen aus Silizium und Kohlenstoff werden als Lösung dieses Problems angesehen. Allerdings werden dadurch die positiven Aspekte des Siliziums eingeschränkt. Der Einsatz von konformen Siliziumschichten wird aufgrund des Kontaktverlustes des Aktivmaterials während der Volumenexpansion bisher verhindert.

Insbesondere zum Erreichen einer hohen volumetrischen Energiedichte ist daher die Entwicklung von reinen, kompakten Siliziumelektroden notwendig, die die Volumenexpansion beim Lithieren kompensieren und für den Einsatz in großformatigen Zellen geeignet sind.

UNSERE LÖSUNG

Durch die Abscheidung von Silizium auf speziell vorbehandelten Substraten kann eine kolumnare Struktur mit guter Adhäsion zum Stromkollektor und intrinsischer Porosität erzeugt werden. Derartige Elektroden zeigen prinzipiell eine exzellente elektrochemische Kapazitätsausnutzung.

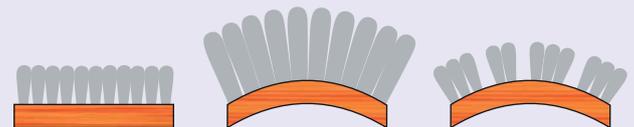
Es werden jedoch Deformationseffekte bzw. Risse in den Elektroden beobachtet, da aufgrund des speziellen Wachstumsmechanismus der Siliziumschicht und durch Abschattungseffekte nicht genügend Raum für die Volumenexpansion bereitgestellt werden kann.

Am Fraunhofer IWS wurde eine Nachbehandlung der kolumnaren Siliziumstrukturen entwickelt, mit welcher Elektroden-deformationen vermieden werden. Als Vorlage diente die im ersten Lithierungs- und Delithierungsschritt erzeugte, selbst organisierte blockartige Struktur der kolumnaren Siliziumschicht (Abb. 2). Das Prinzip der Entwicklung beruht auf der partiellen Ablation von Silizium durch Lasermikrobearbeitung (Abb. 1). Durch die Variation der Prozessparameter (Laserleistung, Wellenlänge des Lasers, Vorschubgeschwindigkeit) kann die Struktur gezielt eingestellt werden.

Vermeidung der Elektrodendeformation bei der Lithiumeinlagerung in kolumnare Siliziumschichten durch Laserstrukturierung



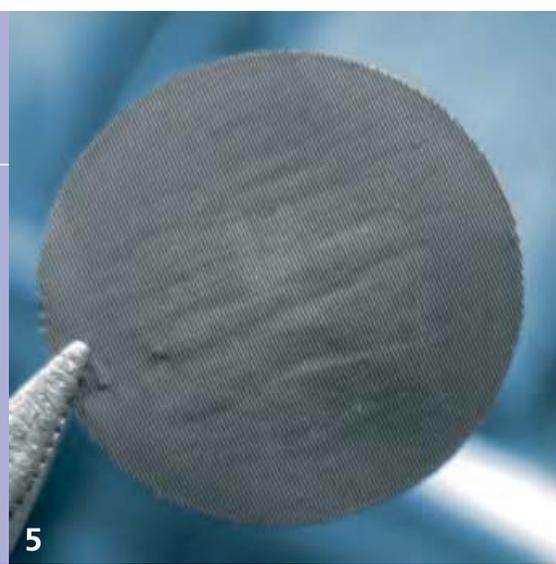
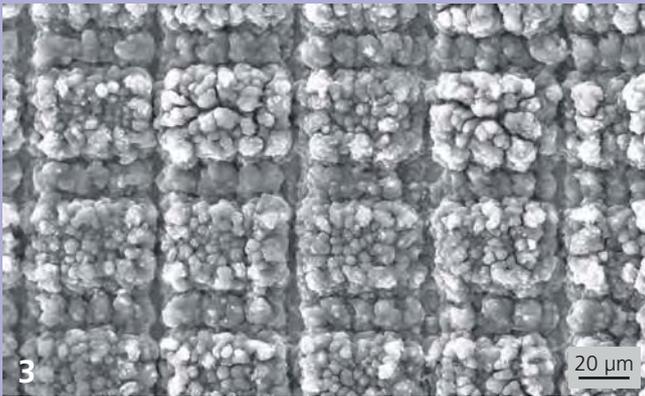
a) ohne Strukturierung



b) mit IWS-Strukturierung



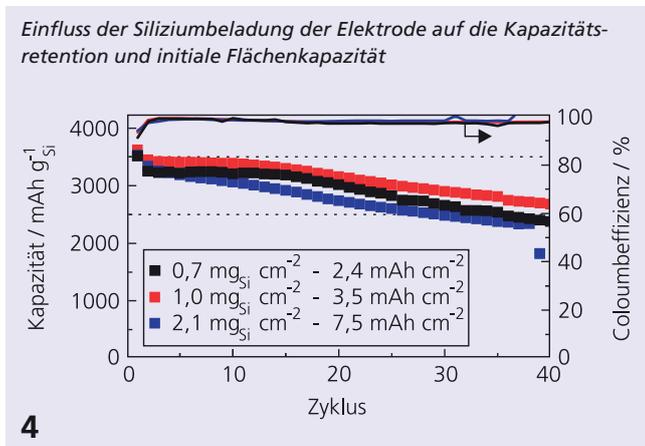
2



ERGEBNISSE

Durch die Lasermikrobearbeitung wurde die während der elektrochemischen Zyklisierung selbstorganisierte, blockartige Struktur initial eingestellt, sodass die Elektrodendeformation vermieden werden konnte (Abb. 3, 5).

Die kolumnaren Siliziumschichten wurden in Halbzelltests gegen Lithium hinsichtlich ihrer elektrochemischen Eigenschaften bewertet. Mit Steigerung der Siliziumbeladung der Elektroden konnte bei gleichbleibender Kapazitätsretention die Flächenkapazität von etwa 2 mAh cm^{-2} auf bis zu $7,5 \text{ mAh cm}^{-2}$ gesteigert werden (Abb. 4).

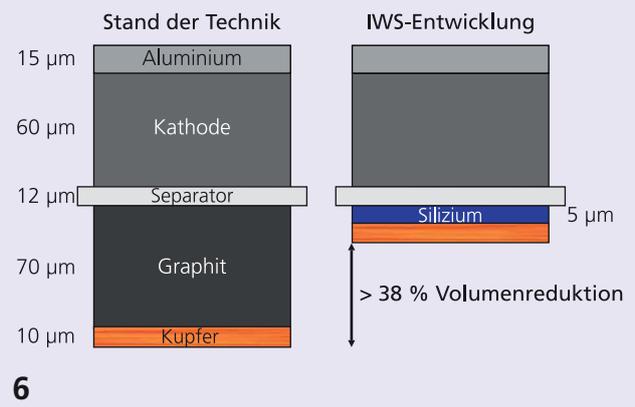


Die am IWS entwickelten reinen und kompakten Siliziumschichten können perspektivisch die herkömmlichen Graphitanoden substituieren. Das Volumen der Anode kann dadurch bei gleichbleibender Kapazität minimiert werden, was zu einem Volumenvorteil von über 38 Prozent auf Zellebene führt (Abb. 6).

Auf diesem Anodenmaterial basierende Sekundärbatterien besitzen das Potenzial, die volumetrische Energiedichte um 43 Prozent von derzeit maximal 700 auf über 1.000 Wh l^{-1} zu steigern. Das Batteriepack kann also bei gleichem Bauraum

eine größere Energiemenge speichern und damit die technologische Grundlage zur Steigerung der Reichweite von Elektrofahrzeugen schaffen. Die Weiterentwicklung und Skalierung der Technologie zur Si-Abscheidung und -Strukturierung sind dabei der Schlüssel für die erfolgreiche industrielle Umsetzung dieses Konzeptes.

Vergleich des Zellvolumens einer Lithium-Ionen-Batterie mit Graphitanode (links) und kolumnarer Siliziumschichtanode (rechts) bei gleicher Flächenkapazität



- 1 Lasermikrobearbeitung kolumnarer Siliziumschichten
- 3 Vermeidung der makroskopischen Elektrodendeformation durch Strukturierung
- 5 Strukturierte Elektrode nach Lithiierung mit expandierten Siliziuminseln

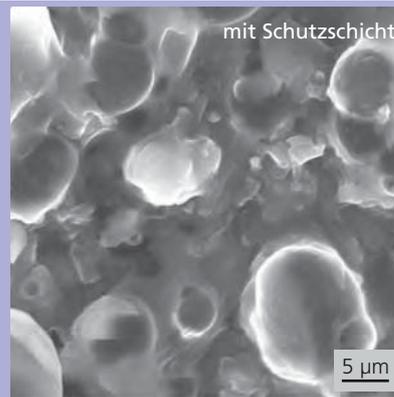
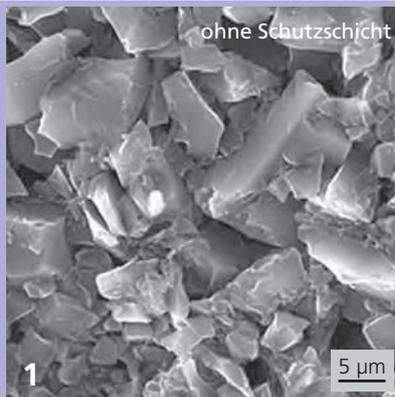
KONTAKT

M. Sc. Markus Piwko

+49 351 83391-3530

markus.piwko@iws.fraunhofer.de





NATRIUM-SCHWEFEL-BATTERIEN FÜR STATIONÄRE ENERGIESPEICHER

DIE AUFGABE

Erneuerbare Energien wie Wind und Photovoltaik unterliegen natürlichen Schwankungen. Um diese auszugleichen, werden beispielsweise Hochtemperatur-Natrium-Schwefel-Batterien als stationäre Energiespeicher eingesetzt. Reaktionskinetisch bedingt können dabei jedoch nur 25 Prozent der theoretischen Kapazität ausgenutzt werden. Zudem besitzt das Hochtemperatur-System durch den Einsatz von flüssigem Natrium erhebliche Sicherheitsrisiken.

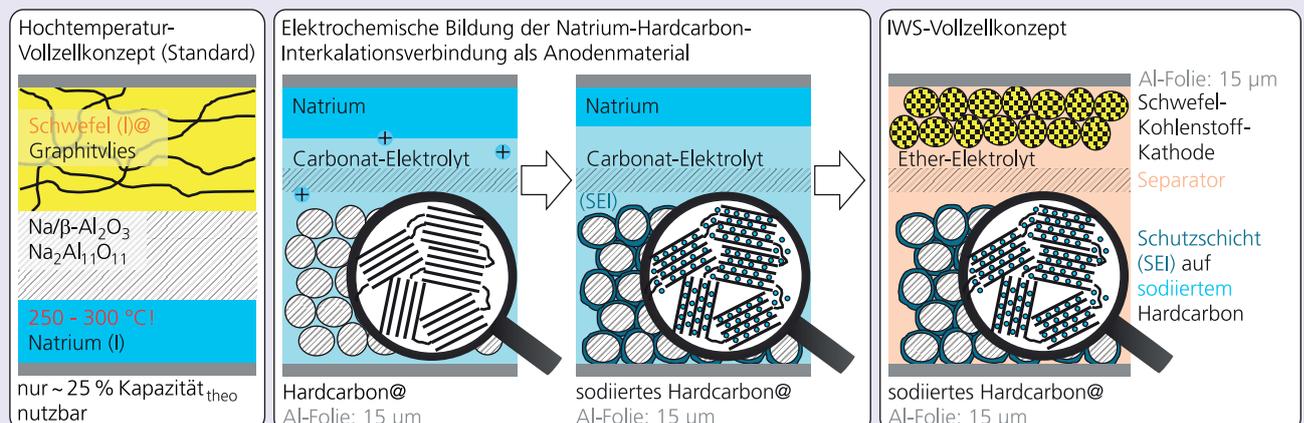
Dresdner Forschungsinstitute arbeiten in einem Förderprojekt an neuen Batterie-Komponenten und Fertigungsverfahren für einen Raumtemperatur-Na-S-Batteriedemonstrator. Das Fraunhofer IWS Dresden bildet im Rahmen des Vorhabens die gesamte Prozesskette zur Fertigung von Na-S-Batteriezellen ab. So werden Entwicklungsaufgaben von der Material-Aufbereitung, der Elektrodenherstellung bis zum Aufbau von Zellstapeln adressiert.

UNSERE LÖSUNG

Das IWS verfolgt im Verbundprojekt NaSBattSy (SAB-Nr.: 1002 34957) das Ziel, einen stationären elektrochemischen Energiespeicher auf Basis der Natrium-Schwefel-Zelltechnologie zu entwickeln, der sehr preiswert herstellbar ist und bei Raumtemperatur arbeitet. Ersteres wird durch die Verwendung kostengünstiger, nahezu unbegrenzt verfügbarer Materialien realisiert, die auch bei ihrer Entsorgung keinen Sondermüll hinterlassen.

Letzteres erfordert einen innovativen, elektrochemischen Schritt, mit dem das Anodenmaterial (eine Natrium-Kohlenstoff-Verbindung Na_xC) generiert wird. Eine speziell angepasste Elektrolyt-rezeptur soll unerwünschte Nebenreaktionen (Polysulfid-Shuttle) effizient unterbinden und Schutzschichten auf Anodenseite bilden (Abb. 1).

Vergleich des Standardkonzeptes (Links) mit dem im IWS entwickelten und patentierten Vollzellkonzept (Mitte und Rechts) der Natrium-Schwefel-Zelle



2



Anodenseitig werden nicht graphitisierbare Kohlenstoffe verwendet, die mit einer adaptierten Elektrolytrezeptur präsoziiert und gleichzeitig mit einer sulfidischen Schutzschicht versehen werden (Abb. 2). Kathodenseitig wird zum einen ein für die Lithium-Ionen-Batterie bereits etabliertes pastenbasiertes Beschichtungsverfahren eingesetzt. Alternativ kommt eine lösungsmittelfreie Prozessierung zur Anwendung, bei dem aus dem Kohlenstoff-Schwefel-Komposit und einem Binder ein freistehender Elektrodenfilm erzeugt wird. Beide Technologien sind bereits aus der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien bekannt (Abb. 3) und erfordern somit kein neues Equipment.

ERGEBNISSE

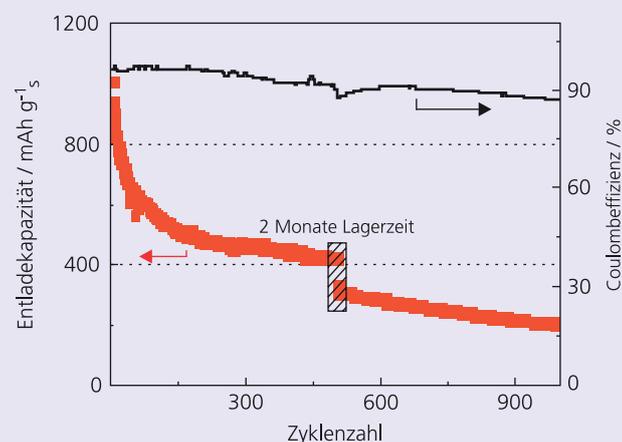
Durch die Zusammenarbeit der Verbundpartner wurden die elektrochemischen und fertigungstechnischen Grundlagen eines neuen elektrischen Speichersystems für stationäre Anwendungen geschaffen. Erstmals konnte eine über 1000 Zyklen stabile

Na-S-Zelle bei Raumtemperatur demonstriert werden (Abb. 4). Dieses Ergebnis ist ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu kostengünstigen Energiespeichern auf Basis verfügbarer Rohstoffe.

Das Fraunhofer IWS adressiert hierbei insbesondere den unbekannteren Prozessschritt der Anodenformierung. Dabei hat sich der Elektrolyt als wichtige Schlüsselkomponente in der Na-S-Zelle herausgestellt. Die Löslichkeit gegenüber Polysulfiden wird durch die Zusammensetzung der Lösungsmittel und der Salzkonzentrationen definiert und beeinflusst maßgeblich die spezifische Kapazität (Nutzbarkeit des Schwefels) auf Kathodenseite sowie Degradation und Selbstentladung auf Anodenseite (durch den Polysulfid-Shuttle-Effekt).

Weiterhin gibt es im Gegensatz zum Lithium keine kommerziell erhältlichen Natriumfolien, die für eine zeitlich effiziente Bildung der Natrium-Hardcarbon-Interkalationsverbindung essentiell sind. Hierfür entwickelt das Fraunhofer IWS ein potenziell skalierbares Konzept für den Natrium-Folien-Guss. Die zyklische Lebensdauer kann durch die Adaption der Elektrolytrezeptur perspektivisch weiter erhöht werden.

Abhängigkeit der Entladekapazität des Schwefels von der Zyklenzahl des entwickelten Vollzellkonzeptes



4

- 1 REM-Aufnahmen des Hardcarbon-Anodenmaterials mit und ohne Schutzschicht
- 3 Rolle-zu-Rolle Beschichtungsanlage

KONTAKT

Dr. Susanne Dörfler

+49 351 83391-3703

susanne.doerfler@iws.fraunhofer.de



1



STRAHLUNGSSELEKTIVE ABSORBERBESCHICHTUNG FÜR HOCHTEMPERATURANWENDUNGEN

DIE AUFGABE

Die Sonne stellt die mit Abstand größte erneuerbare Energiequelle dar. Eine effiziente Umwandlung der Sonnenenergie in Wärme erfordert jedoch besondere optische Eigenschaften an der Oberfläche des Solarabsorbers. Für einen hohen optischen Wirkungsgrad muss die Absorption im solaren Spektrum (280 nm – 2500 nm) maximal sein, die thermische Emission gleichzeitig gering. (Abb. 2)

Die spektrale Verteilung und die Emissionsleistung einer Oberfläche sind von seiner Temperatur und von den Absorptionseigenschaften abhängig. Für eine geringe thermische Emission muss gemäß Kirchhoff'schem Gesetz die Absorption bei gleicher Wellenlänge gering sein. Die für solare Anwendungen benötigte Änderung der Absorptionseigenschaften wird durch so genannte strahlungsselektive Absorber erreicht. Diese lassen sich für Hochtemperaturanwendungen (> 400 °C) jedoch nur mit Vakuumprozessen herstellen.

UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer IWS Dresden wurde ein Lösungsansatz entwickelt, welcher auf dem Einsatz neuer Materialien und kostengünstiger Verfahren zur Verarbeitung beruht. Im Vergleich zum Stand der Technik konnte dadurch ein neuartiger Solarabsorber aufgebaut und zum Patent angemeldet werden.

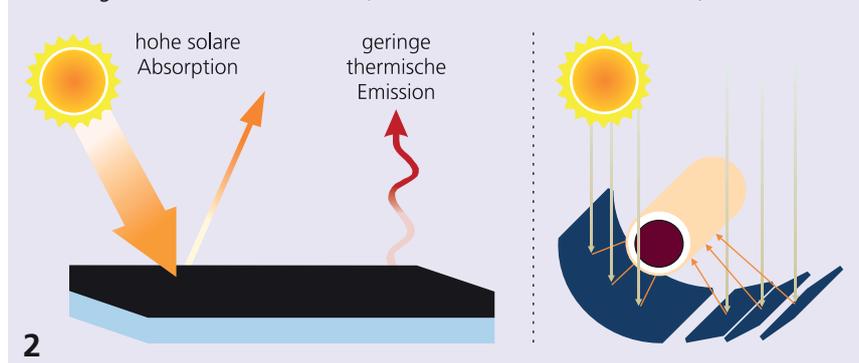
Das neu entwickelte Schichtsystem besteht prinzipiell aus einer im infraroten Wellenlängenbereich hochreflektierenden Metallschicht und einer im solaren Spektrum hoch absorbierenden CNT-Dünnschicht. Um die Schichthaftung und Abriebbeständigkeit des Schichtsystems zu verbessern, wird die CNT-Dünnschicht mit einer optisch transparenten Siliziumoxid-Schicht mechanisch stabilisiert.

Kohlenstoffnanoröhren (engl. Carbon Nanotubes = CNT) besitzen aufgrund ihrer eindimensionalen Struktur besondere optische Eigenschaften, welche zur Herstellung von strahlungsselektiven Schichtsystemen gezielt genutzt werden können. Dabei ist es möglich, die optischen Eigenschaften dieses neuartigen CNT-basierten Solarabsorbers dem jeweiligen technischen Anwendungsgebiet bzw. der erforderlichen

Temperatur anzupassen. Aufgrund ihrer exzellenten thermischen Beständigkeit eignen sich die CNT zudem für den Einsatz in Hochtemperaturanwendungen.

Die zur Herstellung eines solchen Solarabsorbers benötigten Beschichtungsverfahren sind kostengünstig, einfach aufskalierbar und flexibel auf zahlreiche Substratmaterialien und -geometrien umrüstbar (Abb. 3).

Prinzipskizze einer strahlungsselektiven Oberfläche sowie Konzentration von Solarstrahlung mit Linienkonzentratoren (Parabolrinne und Fresnel-Kollektor)



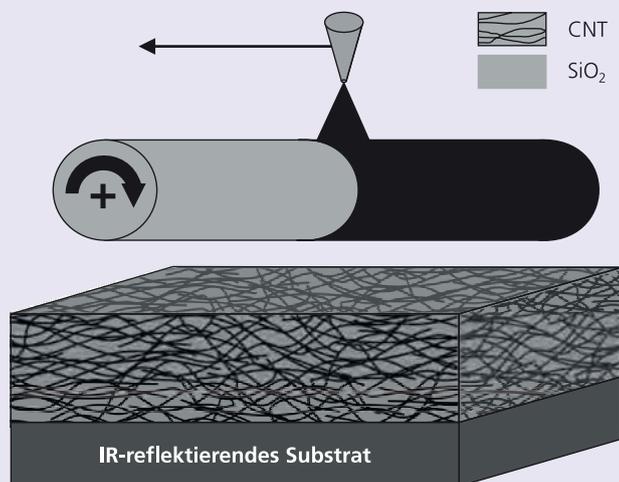
ERGEBNISSE

Die bei CNT auftretenden Absorptionsmechanismen beruhen auf Wechselwirkungen der elektromagnetischen Strahlung mit dem π -Plasmon und Interbandübergängen, den so genannten van Hove Singularitäten (vHS). Durch die breite Hintergrundabsorption des π -Plasmon (Peak-Maximum im UV) und den spezifischen Absorptionsbanden der vHS lässt sich durch Variation der CNT-Durchmesser und CNT-Schichtdicke die Strahlungselektivität der CNT-Schicht gezielt einstellen (Abb. 4).

Aufbauend auf den Untersuchungen unterschiedlicher CNT-Materialien, konnten verschiedene strahlungsselektive Schichtsysteme aufgebaut und charakterisiert werden. Die besten Ergebnisse sind in Abbildung 5 im Vergleich mit den kommerziellen Produkten dargestellt.

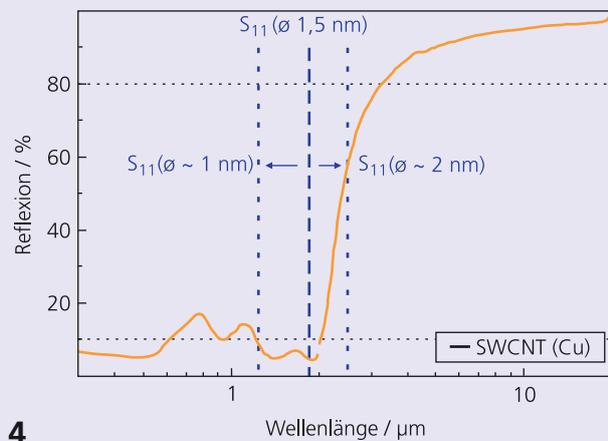
Thermogravimetrische Messungen an SWCNT-Schichten unter sauerstoffhaltiger Atmosphäre (Luft) zeigen eine Temperaturbeständigkeit von 584 °C, unter inerter Stickstoffatmosphäre sogar von 850 °C.

Einfache Zerstäubungstechnik zum Auftrag der strahlungsselektiven CNT-Absorberschichten und Tauchbeschichtung der SiO₂-Schutzschicht



3

Einfluss der verschiedenen CNT-Durchmesser auf die S₁₁-vHS-Absorptionsbande im Reflexionsspektrum



4

Optische Eigenschaften von CNT-basierten strahlungsselektiven Schichtsystemen im Vergleich zum Stand der Technik

	solare Absorption	thermische Emission	
	$\bar{\alpha}_{dir}$	$\bar{\epsilon}_{100\text{ °C}}$	$\bar{\epsilon}_{400\text{ °C}}$
MWCNT auf Cu	0,92	0,09	0,22
SWCNT auf Cu	0,90	0,05	0,11
Schwarzchrom	0,96	0,19	-
Cermet	0,94	0,08	0,13

5

1 Receiverrohr mit CNT-basiertem Absorberrohr

KONTAKT

Dipl.-Ing. Thomas Abendroth

+49 351 83391-3294

thomas.abendroth@iws.fraunhofer.de





BERÜHRUNGSLOSER NACHWEIS VON BIOZIDEN AN KULTURGÜTERN UND HÖLZERN

DIE AUFGABE

Viele Museen in Deutschland können wertvolle Ausstellungsstücke nicht der Öffentlichkeit präsentieren, da diese mit Bioziden kontaminiert sind. In guter Absicht wurde in den 70er Jahren versucht, textile, hölzerne oder präparierte biologische Objekte durch Besprühen mit Schädlingsbekämpfungsmitteln wie z. B. Hylotox vor der Zerstörung zu bewahren. Heute ist bekannt, dass von diesen Stoffen eine nicht zu unterschätzende Gesundheitsgefährdung ausgeht. Die genaue Kenntnis der Art, des Umfanges und der Lage der Kontamination sind eine Voraussetzung für die Festlegung einer optimalen Reinigungsstrategie.

Zur Unterscheidung organischer Biozide, die alle aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Chlor bestehen, ist ein Verfahren erforderlich, welches die Substanzen anhand Ihrer Molekülstruktur unterscheiden kann. Dies kann das zerstörungsfreie Verfahren der nahinfraroten hyperspektralen Bildgebung leisten, das eine schnelle orts aufgelöste und spektroskopische Erfassung der Untersuchungsobjekte ermöglicht.

UNSERE LÖSUNG

Das »Hyperspectral Imaging« (HSI, auch hyperspektrale Bildgebung) bezeichnet eine Klasse von bildgebenden Spektrometern. Neben Laboranwendungen eignen sich die kompakten HSI-Systeme auch für Untersuchungen vor Ort – ohne dass eine Probe entnommen und separat im Labor analysiert werden muss. Die optisch-berührungslose Arbeitsweise ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber invasiv arbeitenden Inspektionsmethoden, da die untersuchten Kulturgüter damit nicht geschädigt werden.

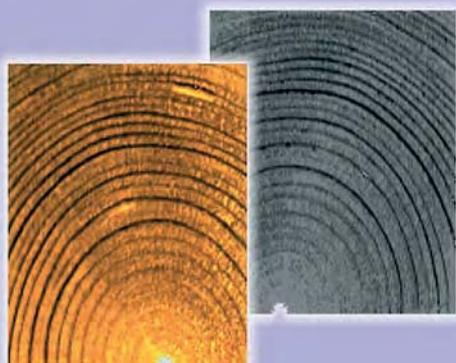
Mit Hilfe einer anpassbaren Optik sind unterschiedlichste Arbeitsabstände realisierbar. Durch geschickte Wahl der Optik lassen sich Pixelauflösungen von unter einem Mikrometer bis hin zu mehreren Dezimetern realisieren. Zusammen mit der hohen Informationstiefe der spektralen Erfassung liegt eine wesentlich größere Datenbasis zur Untersuchung der Proben vor. Neben den gewonnenen chemischen Informationen aus dem nahen Infrarotbereich (NIR) können ebenso Bildinformationen zur Auswertung von Oberflächenstrukturen genutzt werden. Von zentraler Bedeutung ist es, diese große Datenmenge im Bereich von Gigabyte pro Sekunde sinnvoll zu verarbeiten und zu interpretieren.

HSI-Mikroskop-Kombination zur detaillierten Untersuchung kleinster Probenareale



Am Fraunhofer IWS Dresden sind Lösungswege entwickelt worden, die eine schnelle Informationsgewinnung unter Nutzung multivariater Algorithmen sowie Methoden zur Bildauswertung ermöglichen (»soft modeling«). Insbesondere auf letzterem Weg lässt sich eine schnelle Analytik realisieren, die innerhalb weniger Sekunden die Daten auflösen und das Ergebnis ausgeben kann. Dazu wurde eine eigene Softwareplattform (imanto[®]pro) entwickelt, welche sich individuell auf die Bedürfnisse der Aufgabenstellung anpassen lässt.

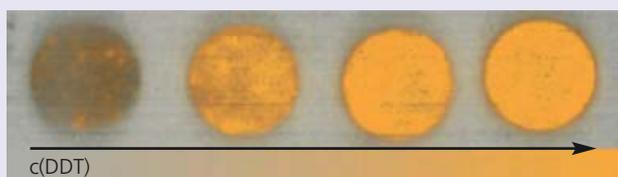
3



ERGEBNISSE

In Voruntersuchungen an gezielt kontaminierten PTFE-Presslingen wurde festgestellt, dass die Biozide Pentachlorphenol (PCP), γ -Hexachlorcyclohexan (Lindan), Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und Parathion mit dem Verfahren zweifelsfrei nachgewiesen werden können.

PTFE-Presslinge mit zunehmender DDT-Konzentration (v. l. n. r.), deutlich sichtbar ist die inhomogene Verteilung bei kleineren Konzentrationen (geringste Konzentration < 0,5 Masse-Prozent)

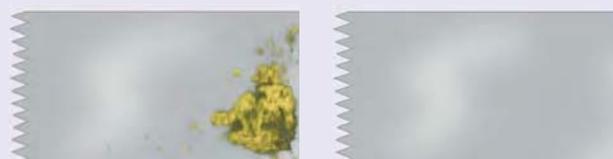


4

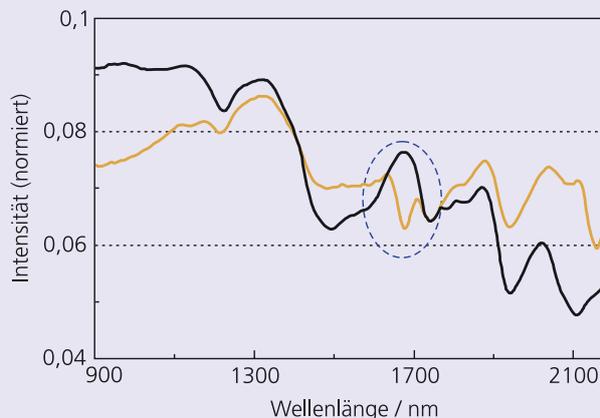
Das Verfahren wurde ebenso erfolgreich für den Nachweis von Bioziden auf imprägnierten Hölzern eingesetzt. Der Nachweis erfolgt hier über spektrale Banden im nahen Infrarotbereich, die eindeutig den jeweiligen Bioziden zugeordnet werden können. Auf Basis einer kalibrierenden Konzentrationsreihe (z. B. in PTFE-Presslingen) können auch Konzentrationsverteilungen angegeben werden. Eine Auswertung über soft-modeling-Methoden lässt sich z. B. durch die Hauptkomponentenanalyse (engl. principal component analysis, PCA) realisieren.

Neben der direkten Untersuchung am Kulturgut ist auch die Abnahme von Oberflächenbelägen und deren anschließende Analyse im Labor eine Methode, die bereits erfolgreich praktiziert wurde. Die Abnahme der auf den Oberflächen auskristallisierten Beläge kann beispielsweise mit Klebeband erfolgen. Abbildung 5 zeigt vergleichend die aus einem Kirchendachstuhl gewonnenen Proben (kontaminiert – nicht kontaminiert) sowie charakteristische Spektren.

Klebeband-Abzugprobe von einem Kirchendachstuhl (links) im Vergleich zu einer Referenzprobe (rechts). Deutlich erkennbar ist die DDT-Kontamination der Dachstuhlprobe (gelb eingefärbt)



Spektren der Referenz (schwarz) und der DDT-Kontamination (gelb). Blau markiert ist die DDT-Absorption, die zur weiteren Auswertung der Spektren genutzt wird.



5

- 2 *Detailabbildung der Beleuchtung im Laboraufbau*
- 3 *Spektrale Bilder von Kiefern-Hirnschnitten bei 1430 nm, mit und ohne Biozidbelastung*

KONTAKT

Dr. Philipp Wollmann

+49 351 83391-3316

philipp.wollmann@iws.fraunhofer.de





PLASMAREINIGUNG ZUR TRENNMITTEL- ENTFERNUNG VON CFK-OBERFLÄCHEN

DIE AUFGABE

Aufgrund ihrer außergewöhnlichen Materialeigenschaften werden kohlefaserverstärkte Kunststoffe (CFK) in zunehmendem Maße im Flugzeug- und Automobilbau eingesetzt. Um deren Leichtbaupotenzial im vollen Umfang auszunutzen, müssen etablierte Füge Technologien wie z. B. Nieten oder Schrauben durch neue, auf die CFK-Materialien angepasste Klebtechnologien substituiert werden. Die Klebtechnik zeichnet sich durch ihre einfache Realisierbarkeit und die Reduktion von Spannungskonzentrationen im Bauteil aus. Grundlage für eine erfolgreiche adhäsive Verbindung der Bauteile ist die Vorbehandlung der Oberfläche. Dabei geht es bei der CFK-Vorbehandlung nicht nur um die Feinreinigung, sondern vor allem um die vollständige Entfernung herstellungsbedingter Trennmittelrückstände.

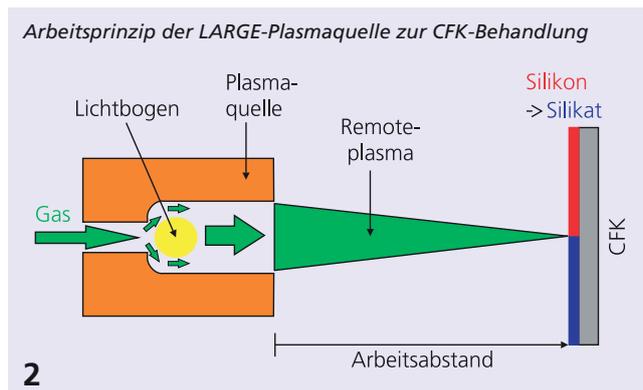
Zur Reduzierung von Fertigungskosten soll das derzeit etablierte manuelle Schleifverfahren zum Entfernen der Trennmittelrückstände perspektivisch durch eine Plasmavorbehandlung ersetzt werden. Die Plasmatechnologie muss hinsichtlich des Bearbeitungsabstandes ein möglichst großes Parameterfenster aufweisen, da große, komplexe und leicht gekrümmte Oberflächen behandelbar sein müssen.

UNSERE LÖSUNG

Für die Trennmittelentfernung auf CFK-Oberflächen wurde am Fraunhofer IWS Dresden eine spezielle Langlichtbogen-Plasmaquelle (LARGE) mit adaptierbarer Arbeitsbreite entwickelt. Mit der LARGE-Plasmaquelle bietet das Fraunhofer IWS eine Plasmatechnologie zur großflächigen Anwendung bei Atmosphärendruck an (Abb. 2). Die Plasmaquelle generiert ein homogenes linienförmiges Afterglow-Plasmasheet mit einer Länge von bis zu 350 mm. Sie arbeitet bei Atmosphärendruck, wodurch die Integration in bestehende Prozessketten besonders einfach möglich wird.

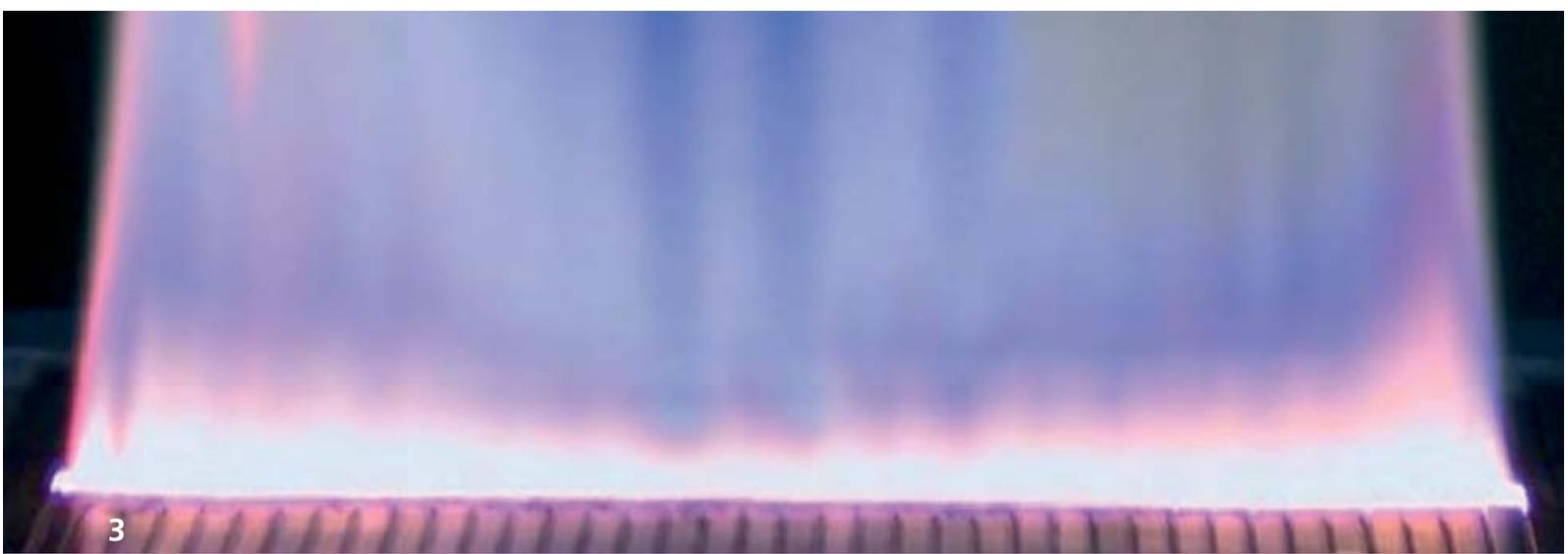
Besonderes Merkmal der LARGE-Plasmaquelle ist die Möglichkeit der Verwendung einer Vielzahl von einsetzbaren Plasmagasen und deren Mischungen, z. B. Druckluft, Ar + O₂, N₂, CO₂, H₂, NH₃ etc. Damit ist es möglich, die Plasmabehandlung gezielt auf die zu behandelnde CFK-Oberfläche anzupassen.

Ein weiterer Vorteil der LARGE-Plasmaquelle ist deren große Fackellänge, die bis zu 20 cm erreichen kann. Dadurch ist auch die Behandlung gekrümmter Bauteile ohne großen Positionieraufwand ermöglicht.



ERGEBNISSE

Für die Trennmittelentfernung wurden repräsentative CFK-Proben mit der LARGE-Plasmatechnologie behandelt. Der Arbeitsabstand der Plasmaquelle, die Plasmagaszusammensetzung sowie die Verfahrensgeschwindigkeit wurden dabei auf die maximale Haftfestigkeit einer anschließenden Klebeverbindung optimiert. Es wurden sowohl flüssige Trennmittel (Marbocote) als auch Trennfolien (Super Release Blue) auf Silikonbasis untersucht und getestet.



Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der CFK-Oberfläche erfolgte sowohl vor als auch nach der Plasmabehandlung durch Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS). Die Haftfestigkeit der Klebeverbindungen wurde durch den Pull-Off-Test nach DIN EN ISO 4624 sowie durch den G1C-Test (industrieller Luftfahrtstandart) ermittelt. Die Referenzproben wurden geschliffen und anschließend mit Aceton gereinigt. Die XPS-Ergebnisse zeigen, dass der Silikonanteil an der CFK-Oberfläche nach der Plasmabehandlung deutlich abnimmt (Abb. 4). Durch die hohe Plasmaaktivität der Quelle werden silikonbasierte Trennmittelrückstände zu Silikaten umgewandelt. Diese quarzglasähnlichen Schichten wirken bei der anschließenden Verklebung als zusätzliche Haftvermittler, wodurch eine deutlich bessere Haftung erreicht wird.

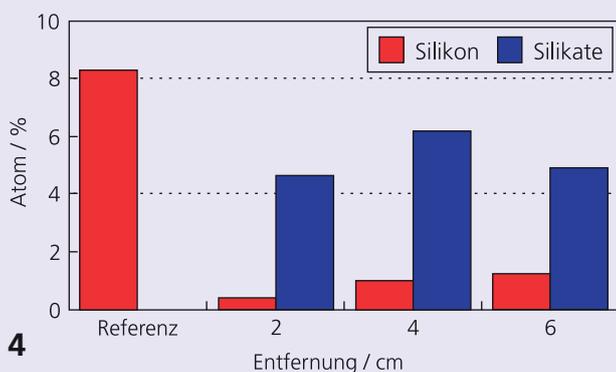
Die Pull-Off-Tests zur Bestimmung der Haftfestigkeit wurden mit einer Lumifrag Zentrifuge durchgeführt. Bei Behandlungsabständen von 4 cm und 6 cm wird die höchste Haftfestigkeit erreicht. Selbst bei Arbeitsabständen von 8 cm liegt die erzielte Haftfestigkeiten deutlich höher als die der Referenzproben (Abb. 5).

Die Ergebnisse des G1C Haftungstests bestätigen die Ergebnisse des Pull-Off Tests. Gegenüber der Referenzprobe werden hier wesentlich höhere G1C-Energien für Bearbeitungsabstände von 4 cm bis 8 cm erreicht (Abb. 5).

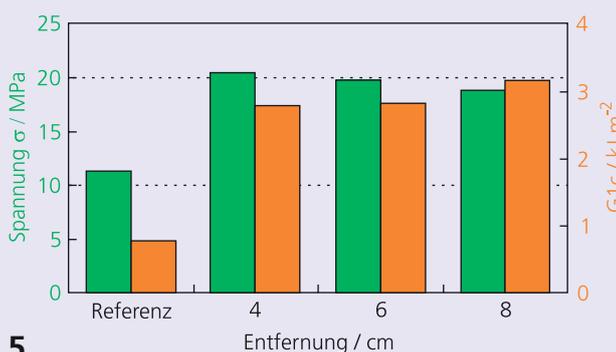
Zusätzlich zu den Haftungsenergien wurden die Bruchbilder der Klebeverbindungen nach DIN EN ISO 4624 untersucht. Bei allen Proben wurde entweder ein kohäsives Versagen im Klebstoff oder innerhalb des Matrixmaterials festgestellt.

- 1 150 mm LARGE-Plasmaquelle montiert an einen Roboterarm zur CFK-Behandlung
- 3 LARGE-Plasma Fackel

XPS-Oberflächenanalyse von gereinigten CFK-Proben in Abhängigkeit vom Abstand der Plasmaquelle von der Oberfläche



Pull-Off- und G1C-Klebetest an gereinigten und verklebten CFK-Proben



KONTAKT

Dr. Gerrit Mäder

+49 351 83391-3262

gerrit.maeder@iws.fraunhofer.de



PRÄZISE BOR-DOTIERUNG VON EINKRISTALLINEN DIAMANTEN

DIE AUFGABE

Diamant ist eines der vielversprechendsten Materialien für Anwendungen in der Hochtemperatur-, Hochleistungs- und Hochfrequenzelektronik. Die einzigartige Kombination von herausragenden physikalischen Eigenschaften (Abb. 1) erlaubt den Entwurf elektronischer Bauteile, welche das Leistungsvermögen anderer Halbleiterelemente (Si, SiC und GaN) deutlich übersteigen. Denkbar ist eine neue Generation von Hochleistungselektronik, welche mit Spannungen von mehreren 10 kV und einer Leistung von 100 kW bis 5 MW betrieben werden kann. Diamantbasierte Hochleistungselektronik eignet sich für den Einsatz bei höheren Temperaturen, ohne dass externe Kühlung und extensive Schutzschaltungen notwendig sind, was Gewicht und Kosten spart.

Um das volle Potenzial von Diamantelektronik nutzen zu können, müssen die elektrischen Eigenschaften von Diamant, z. B. die elektrische Durchbruchfeldstärke sowie die Ladungsträgerleitfähigkeiten, maximiert und präzise definierte Dotierprofile bei der p- und n-Dotierung erreicht werden. Die Herstellung von Dotierprofilen mit exakten lateralen und vertikalen Ausmaßen sowie definierten Akzeptor- und Donorkonzentrationen sind der Schlüssel, um Halbleiterübergänge in Dioden und Transistoren mit kontrollierten elektrischen Feldern und Durchbruchfeldstärken zu erreichen.

Physikalische Eigenschaften ausgewählter Halbleiter

Eigenschaften	Si	GaAs	6H-SiC	GaN	Diamant
Bandlücke, E_0 (eV)	1,12	1,43	3,03	3,45	5,45
Durchbruchfeldstärke, E_c (kV cm ⁻¹)	300	400	2500	2000	10000
thermische Leitfähigkeit, λ (W cm ⁻¹ K)	1,5	0,46	4,9	1,3	22

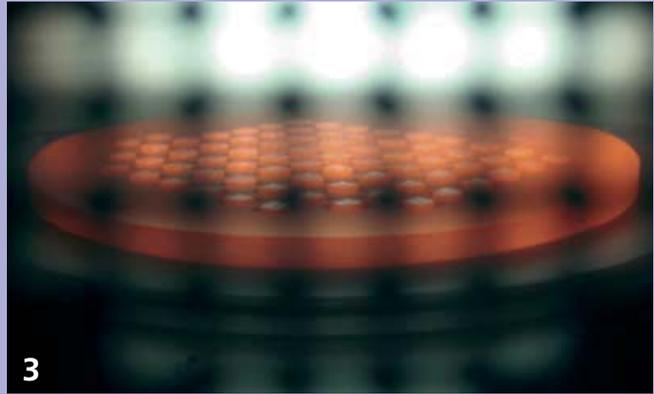
1

UNSERE LÖSUNG

Diamant wird typischerweise mit Bor p- und mit Phosphor n-dotiert. Normalerweise erfolgt die Dotierung in-situ während der homoepitaktischen Diamantsynthese durch die Zugabe von Dotierquellen (z. B. in Form eines Prozessgases) während des CVD-Prozesses. Die direkte Dotierung während des Wachstums hat allerdings einen entscheidenden Nachteil: Es ist unmöglich das laterale Dotierprofil zu variieren. Dies steht in starkem Kontrast zu anderen Halbleitermaterialien, wo die Dotierung typischerweise mittels Ionenimplantation der Dotieratome und anschließendem thermischen Ausheilen durchgeführt wird.

Leider ist diese Methode für Diamant nur schwer umsetzbar, da Diamant unter Atmosphärendruck nur eine metastabile Variante des Kohlenstoffs ist. Dies wirkt sich vor allem auf das Ausheilen aus, bei welchem sich Diamant in Graphit umwandeln kann. Außerdem ist die Diffusion von Dotieratomen in Diamant problematisch, da die hohe Atomdichte zu sehr niedrigen Diffusionsraten führt, außer wenn der Diamant sehr hohen Temperaturen ausgesetzt wird, bei denen wiederum eine Umwandlung in Graphit stattfinden kann.

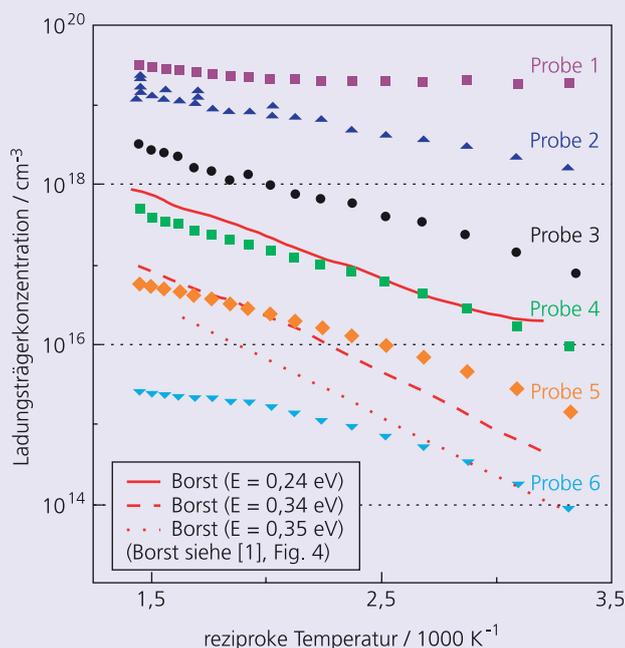
Das Fraunhofer USA Center for Coatings and Diamond Technologies CCD erhielt gemeinsam mit der Michigan State University MSU ein 4-Jahres Forschungsprojekt der US National Science Foundation (NSF), bei dem neuartige Dotiermethoden für Diamant zur Realisierung von Hochleistungselektronik studiert werden. Die Schwerpunkte liegen auf einer weiteren Optimierung des Dotierprozesses auch mit alternativen Methoden wie der Eindiffusion von einer festen Dotierquelle und der Ionenimplantation mit Dotieratomen.



ERGEBNISSE

Die Synthese von dotiertem Diamant mittels in-situ-Dotierung wird am Fraunhofer CCD routinemäßig durchgeführt. Während der CVD-Diamantsynthese (Abb. 3) werden die Dotiergase Diboran (für n-Dotierung) sowie Phosphin (für p-Dotierung) zugegeben. Sowohl mit p- als auch mit n-Dotierung wurden Dotierkonzentrationen zwischen 10^{15} cm^{-3} und 10^{20} cm^{-3} erreicht. Abbildung 2 zeigt die Störstellenkonzentration von Bor-dotierten Diamantfilmen mit verschiedenen Dotierkonzentrationen, gemessen mittels Hall-Effekt. Der Schwerpunkt der Studie zur in-situ-Dotierung liegt auf der Optimierung des Wachstumsprozesses, um die Defektdichte in der gewachsenen epitaktischen Schicht zu reduzieren. Außerdem ist es wichtig die einzelnen Prozessparameter sukzessiv zu variieren, so dass definierte Dotierkonzentrationen abgeschieden werden können.

Ladungsträgerkonzentration in dotierten Diamanten in einem Temperaturfenster zwischen 300 K (Raumtemperatur) und 700 K. Die verschiedenen Proben wurden mit unterschiedlichen Dotiergaskonzentrationen erzeugt.



2

Bei der Eindiffusion werden Kohlenstoffschichten, welche Bor oder Phosphor enthalten, auf der zu dotierenden Oberfläche abgeschieden. Anschließend wird der Verbund in einem Ofen unter Stickstoffatmosphäre bei Temperaturen zwischen 1000 °C und 1600 °C erwärmt. Das Hauptziel der Studie ist die Quantifizierung des Diffusionskoeffizienten von Bor und Phosphor in den Diamanten in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Analyse basiert weitestgehend auf SIMS und Kapazitäts-Spannungsmessungen sowie der Bestimmung von Materialkonstanten mittels Hall-Effekt.

Der bisher nur für die verlustfreie Separierung von Diamantwafern angewendete Ionenimplantationsprozess wird so modifiziert, dass Dotieratome nahe der Oberfläche implantiert werden. Eine homogene Verteilung der Dotieratome innerhalb der leitfähigen Schicht wird mittels Hochtemperaturerwärmung erreicht. Die Dotierung der leitfähigen Schicht mit sehr hohen Dosen (10^{19} cm^{-3}) und der Einbau der Fremdatome in das Diamantgitter ist die größte Herausforderung innerhalb dieser Studie, da Ionenbestrahlung mit zu hohen Dosen das Kristallgitter zerstört und diese Regionen in Graphit umwandelt.

[1] Borst, T. H.; Weis, O.: *Electrical characterization of homoepitaxial diamond films doped with B, P, Lo and Na during crystal growth, Diamond and Related Materials 4 (1995) 948-953*

3 *Homoepitaktische Synthese von 70 Diamantkristallen mit der Abmessung $3,5 \times 3,5 \text{ mm}^2$*

KONTAKT

Prof. Dr. Timothy Grotjohn

+1 517 353 8906

tgrotjohn@fraunhofer.org



MOBILER BOR-DOTIERTER DIAMANTSENSOR FÜR DIE ANALYSE GIFTIGER SCHWERMETALLE

DIE AUFGABE

Bor-dotierter Diamant (BDD) hat das größte elektrochemische Potenzialfenster aller Elektrodenmaterialien und erlangte dadurch den Status eines exzellenten Sensor- und Elektrodenmaterials. Von Wasseraufbereitungsverfahren über chemische Synthesen zu elektrochemischen Analysen hat BDD ein breites Anwendungsfeld gefunden. Zudem macht die extreme mechanische und chemische Stabilität, der niedrige Hintergrundstrom und die niedrige Doppelschichtkapazität des BDD das Material besonders nützlich für die Spurendetektion von giftigen Schwermetallen in Wasser.

Die Zunahme von giftigen Schwermetallen im Trinkwasser ist ein ansteigendes Problem. Die ständige Belastung mit Schwermetallen wie Blei, Kadmium und Quecksilber ist krebserregend und führt zu körperlichen Schäden wie zum Beispiel Nierenversagen, schwere Nervenvergiftungen und IQ-Verlust. Durch die schnellere physiologische Aufnahme dieser Gifte sind die Effekte besonders bei Kindern verstärkt zu beobachten. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) in Europa berichtet, dass der IQ-Verlust von Kindern schon bei Bleiwerten im Blut von weniger als $10 \mu\text{g dl}^{-1}$ oder 1 ppm beginnt.

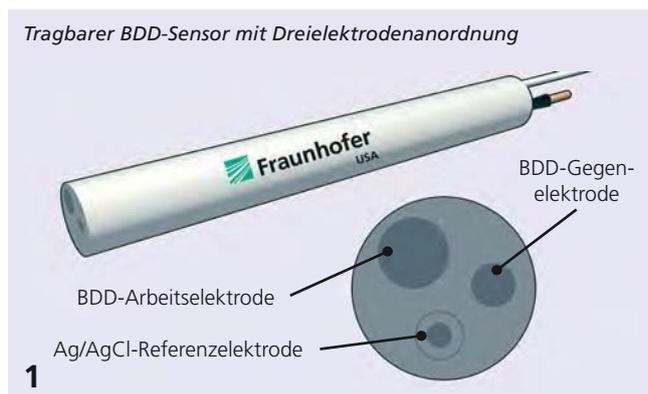
Die Detektion dieser metallischen Gifte vor der körperlichen Aufnahme ist notwendig, damit potenziell lebenslanges Leiden vermieden werden kann. Daher ist die Entwicklung eines einfachen und bedienungsfreundlichen Sensors von großer Bedeutung.

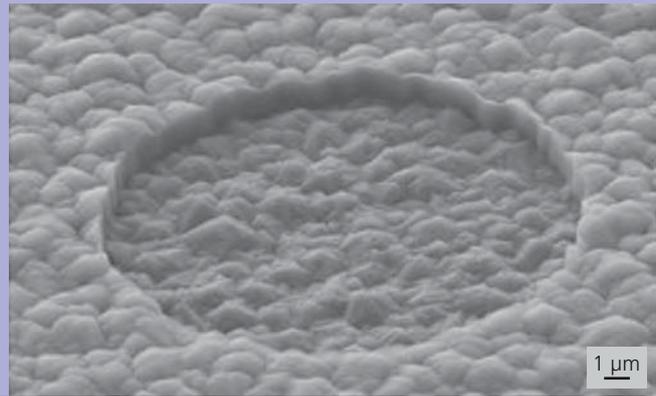
UNSERE LÖSUNG

Forscher des Fraunhofer Center for Coatings and Diamond Technologies CCD in Michigan, USA entwickeln einen tragbaren und universal einsetzbaren elektrochemischen Sensor basierend auf Bor-dotierter Diamanttechnologie. Mit dem Sensor kann man zuverlässig niedrigste Schwermetallkonzentrationen im Trinkwasser zum Beispiel in der kommunalen Wasseraufbereitungsanlage oder zu Hause einfach messen. Der Sensor (Abb. 1) besteht aus einer BDD-Arbeitselektrode, einer Ag/AgCl-Referenzelektrode und einer BDD-Gegenelektrode.

Die Entwicklung einer geeigneten BDD-Arbeitselektrode beinhaltet die Untersuchung von Mikroelektrodenarrays (MEA) und Makroelektroden. Verschiedene Geometrien (Durchmesser und Mittelpunkt-zu-Mittelpunkt-Abstände) der MEA wurden zur Optimierung der Sensitivität und der Nachweisgrenze näher untersucht. Abbildung 2 zeigt Bilder einer einzelnen Mikroelektrode und die hexagonale Anordnung der BDD-MEA.

Für den Aufbau eines kompletten Messsystems entwickeln CCD-Forscher ein kosteneffektives miniaturisiertes Potentiostat, welches für verschiedenste elektrochemische Messverfahren die benötigten Spannungsverläufe und resultierenden Ströme regeln und messen kann. Möglich ist auch Square-Wave-Stripping-Voltammetrie (SWSV), ein sensitives Messverfahren, bei dem der gemessene Strom proportional zur Konzentration des Analyten in der Lösung ist.

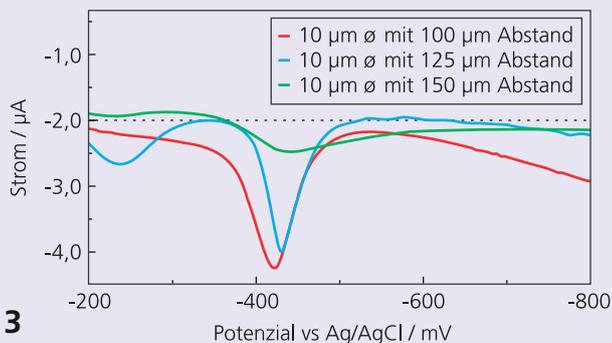




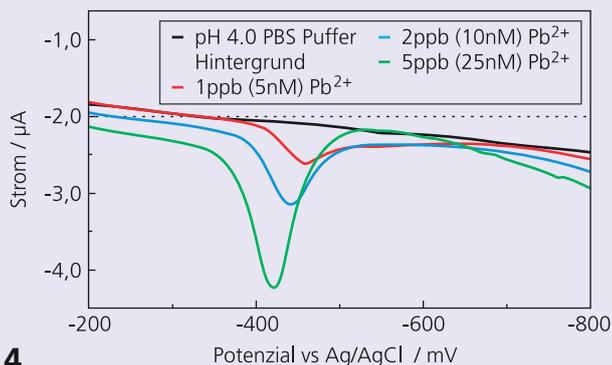
ERGEBNISSE

SWSV erlaubt die Detektion von Spurenelementen an Schwermetallionen durch die Eliminierung der kapazitiven Hintergrundströme. Dadurch besteht der gemessene Strom nur aus Faraday'schem Strom bzw. Strom, verursacht von dem Analyten. In Abbildung 3 sind SWS-Voltammogramme von Blei aufgeführt, welche mit unterschiedlichen MEA-Geometrien gemessen wurden. Jede Elektrode zeigt eine klar quantifizierbare Reaktion bei einer Spurenkonzentration von nur 5 ppb (25 nM) Blei in der Lösung. Eine Geometrie von 10 μm Einzelelektroden Durchmesser und einem Mittelpunkt-zu-Mittelpunkt-Abstand von 100 μm erwies sich als beste Option.

3 Square-Wave-Stripping-Voltammogramme einer Bleikonzentration von 5 ppb (25 nM) in PBS-Lösung (pH 4,0), aufgenommen mit BDD-MEA-Elektroden unterschiedlicher Geometrien.



4 Square-Wave-Stripping-Voltammogramme von verschiedenen Pb^{2+} Konzentrationen an einer BDD-MEA mit 10 μm Durchmesser und 100 μm Abstand in PBS-Lösung.



Weitere Untersuchungen mit der 10 μm x 100 μm BDD-MEA sind in Abbildung 4 gezeigt. Hier wurde eine Serie von unterschiedlichen Bleikonzentrationen von 1 - 5 ppb (5 - 25 nM) analysiert. Diese Konzentrationen wurden gewählt, um zu untersuchen, ob der BDD-Sensor Konzentrationen unterhalb der Trinkwassergrenzwerte zuverlässig messen kann. Diese Werte sind für Blei zum Beispiel laut Umweltbundesamt (UAB) in Deutschland 10 ppb (50 nM) und laut der Environmental Protection Agency (EPA) in den USA 15 ppb (75 nM).

Wie in Abbildungen 3 und 4 gezeigt, können selbst für 1 ppb Blei eindeutig quantifizierbare Strommessungen erzielt werden. Eine lineare Korrelation zwischen der ansteigenden Bleikonzentration und des erhaltenen Stromauschlages zeigt, dass der Fraunhofer BDD-MEA-Sensor eine Nachweisgrenze von 0,2 ppb (1 nM) erreicht, welches 50 mal bzw. 75 mal niedriger ist als der erlaubte Trinkwassergrenzwert des deutschen UAB und der amerikanischen EPA.

Darüber hinaus entwickeln die Forscher des CCD auch optisch transparente BDD-Elektroden für spektralelektrochemische Messungen (z. B. zur Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen) sowie BDD-Arrays zur Ozongeneration und in Polymer verpackte flexible Diamantelektroden zur Analyse von Neurotransmittern.

2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines Bor-dotierten Mikroelektroden-arrays (BDD-MEA)

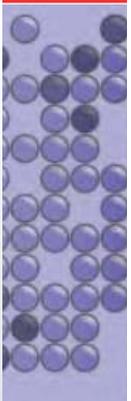
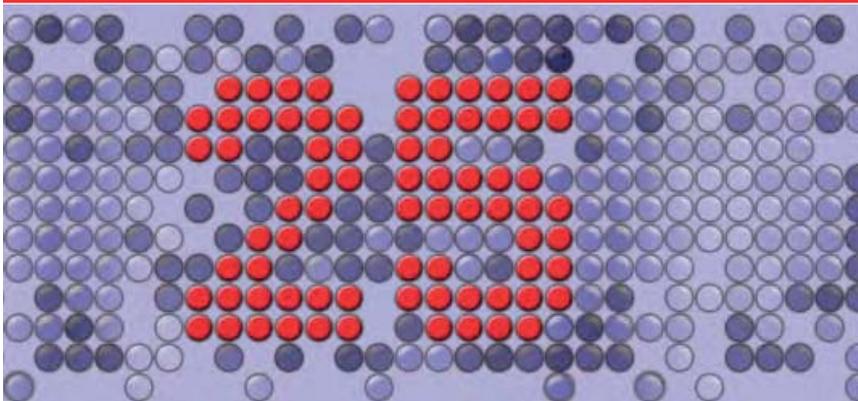
KONTAKT

Dr. Cory Rusinek

+1 517 884 8694

crusinek@fraunhofer.org





WASSERDAMPFDURCHLÄSSIGKEIT VON FOLIEN MIT EINEM LASER ZUVERLÄSSIG MESSEN



KURT PIETSCH
Geschäftsführer
Sempa Systems GmbH



DR. WULF GRÄHLERT
Gruppenleiter Prozess-Monitoring
Fraunhofer IWS Dresden

REDAKTION: Herr Pietsch, Ihr Unternehmen, die Sempa Systems, ist für seine Kompetenz im Bereich der Reinstgasinstallation bekannt. Wie sind Sie auf das IWS und dessen Arbeiten im Bereich Permeationsmessung aufmerksam geworden?

HERR PIETSCH: Ausgangspunkt der Zusammenarbeit auf diesem Gebiet war die Idee des IWS, die Wasserdampfdurchlässigkeit von Barrierefolien mit Hilfe der Laserdiodenspektroskopie zu messen. Hinsichtlich der Empfindlichkeit sollte das Verfahren mindestens den damaligen Stand der Technik abbilden. Dafür wurde 2007 das transnationale Projekt »PermaBar« initiiert, in dem neben der Sempa Systems auch ein Laserhersteller aus Norwegen und ein Hersteller für Permeationsmesstechnik aus Deutschland eingebunden war. Kurz nach Projektstart schied der Gerätehersteller leider aus. Die ursprüngliche Verwertungsschiene war in Frage gestellt und das Projekt stand am Rand des Abbruchs. Eine äquivalente Partnersubstitution war in der vorhandenen Konstellation kaum möglich. Da zu dieser Zeit bereits eine langjährige enge FuE-Kooperation zwischen dem IWS und der Sempa Systems existierte, haben wir gemeinsam ein Konzept erstellt, wie unter der neuen Situation eine Projektfortführung möglich ist. Auf Basis der Kompetenz der Sempa Systems im Bereich der Reinstgasinstallation und der im Projekt »PermaBar« ohnehin geplanten Entwicklungsarbeit sollte sich die Sempa Systems perspektivisch zu einem Anbieter für Permeationsmesstechnik entwickeln.

REDAKTION: Welchen Markt wollten Sie adressieren?

HERR PIETSCH: Ganz klar: den Zukunftsmarkt »Organische Elektronik«. Das langzeitstabile Funktionieren von Bauteilen der organischen Elektronik (OLED) wird maßgeblich von der Abwesenheit von Feuchte bestimmt. Ultrabarrieren, die täglich maximal ein Millionstel Gramm Wasserdampf auf eine Fläche



von 1 m^2 durchlassen, sollen diese Bedingungen ermöglichen. Messbar war dieser Kennwert »Wasserdampfdurchlässigkeit« zu Beginn der Kooperation nicht in dieser Größenordnung. Die ersten Schritte auf dem Weg zu einem industrietauglichen Messgerät waren typische Arbeitspakete eines Entwicklungsprojektes: »Proof of concept« und »Entwicklung eines Prototypen«. Die im Projekt erzielten Ergebnisse waren aber so gut, dass sie unmittelbar nach der Beendigung des initialen Projektes durch die Sempa Systems in ein erstes marktfähiges System überführt werden konnten. Ein Name war auch schnell gefunden: »High Barrier Sensor«, kurz »HiBarSens«.

REDAKTION: Welche Anforderungen erfüllt das Gerät und was zeichnet es aus?

DR. GRÄHLERT: Die exzellente Nachweisempfindlichkeit der Laserdiodenspektroskopie für eine Spurenfeuchtebestimmung war gegeben. Diese jedoch in eine ebenso exzellente Empfindlichkeit für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit umzusetzen, bedurfte der Lösung einiger grundsätzlicher Fragestellungen:

- Wie kann man erreichen, dass ausschließlich der permeierte Wasserdampf gemessen wird und nicht der aus der Umgebungsluft in die Messzelle gewanderte Wasserdampf?
- Wie kann die Nachweisgrenze des Messsystems deutlich unter die, den Stand der Technik markierende, Nachweisgrenze gedrückt werden?
- Was ist überhaupt »der richtige Wert« der Wasserdampfpermeation? Welche physikalischen Effekte bestimmen die »Richtigkeit der Messung« und wie berücksichtigt man diese konzept- und hardwaretechnisch?

Die erfolgreiche Beantwortung aller drei Fragen ebnete uns den Weg zum marktreifen HiBarSens-System. Dieses besitzt eine um mehr als zwei Größenordnungen bessere Nachweisgrenze, als ursprünglich angestrebt. Ultrabarrierematerialien für die OLED-Fertigung, die im Bereich von $10^{-6} \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ liegen, sind somit heute einfach und zuverlässig bestimmbar. Damit markiert das System nun selber den Stand der Technik.

REDAKTION: Wie ist es Ihnen gelungen, als Quereinsteiger in den Markt der Permeationsmessung vorzudringen?

HERR PIETSCH: Wichtig war vor allem die Entwicklung und patentrechtliche Absicherung von Messmodi, welche eine Nachweisgrenze der Wasserdampfdurchlässigkeitsmessung von $< 10^{-6} \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ermöglichten. Dabei spielte das tiefgreifende Verständnis physikochemischer Prozesse innerhalb der Messzelle und deren messtechnischer Berücksichtigung eine entscheidende Rolle. Nicht unerwähnt soll bleiben, dass bereits mit dem ersten Prototypen die Vermarktung u. a. durch internationale Fachvorträge seitens des Fraunhofer IWS und die weltweite Vorstellung der Technologie auf Messen und bei potenziellen Kunden stark gefördert wurde.

REDAKTION: Wo steht man derzeit und was sind die nächsten Entwicklungsziele?

HERR PIETSCH: Nach den anfänglich »revolutionären Schritten«, die durch den Einsatz der Laserdiodenspektroskopie in den Hochperformance-Messmodi markiert waren, sind es jetzt eher evolutionäre Schritte. So wird derzeit beispielsweise das HiBarSens-System für hohe Temperaturen ausgelegt sowie die simultane Bestimmung weiterer Gase wie z. B. Sauerstoff vorbereitet.

REDAKTION: Was ist Ihnen an der Zusammenarbeit mit dem Industriepartner besonders angenehm aufgefallen?

DR. GRÄHLERT: Die strategische Entscheidung unseres Partners, in ein damals völlig neues Geschäftsfeld einzusteigen, fand ich sehr couragiert. Das allzeit hohe Engagement aber auch die Kraft und Geduld, die Entwicklung markttauglich zu gestalten und als »Newcomer« diesen Markt aufzurollen, wurde letztlich mit Erfolg gekrönt. Auf die ausgesprochen kurze Entwicklungszeit, die nicht zuletzt aus einem belastbaren partnerschaftlichen Miteinander resultiert, sind wir besonders stolz.

ZENTREN





THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK – EINZIGARTIG VIELSEITIG

Seit vielen Jahren hat das IWS seine Kompetenzen im Bereich der Thermischen Oberflächentechnik weiterentwickelt. Mit einer in Europa einzigartigen Verfahrensbreite können Oberflächen jeder Art, ob aus Metallen, Kunststoffen oder Keramiken, beschichtet und veredelt werden. Die wichtigsten Verfahren des Zentrums für Thermische Oberflächentechnik am IWS sind:

- Laserauftragschweißen,
- Laserlegieren,
- Laserhybridverfahren,
- Plasmaspritzen,
- HVOF-/Kaltgasspritzen,
- Suspensionsspritzen,
- Draht-/Dampfspritzen,
- Thermochemisches Beschichten,
- Laserhärten und
- Laser-Induktionshärten.

Durch seine ausgeprägte Werkstoffkompetenz ist das IWS in der Lage, allein oder zusammen mit seinen Partnern aus Industrie und Wissenschaft Komplettlösungen für komplexe Aufgabenstellungen aus den verschiedensten Branchen zu entwickeln. Werkstoff- und prozesstechnisches Know-how werden durch bewährte Kompetenzen im Bereich der Systemtechnikentwicklung ergänzt. Dadurch sind nicht nur Laborlösungen möglich, sondern Kunden profitieren insbesondere von der Erfahrung des IWS, die Technologieentwicklungen inklusive applikationsspezifischer Hard- und Software Komponenten in die industrielle Produktion zu bringen. Damit kommt es zu einer sehr raschen Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis – einem wichtigen Wettbewerbsvorteil für unsere Kunden.

KOORDINATION

PROF. DR. CHRISTOPH LEYENS

Telefon +49 351 83391-3242

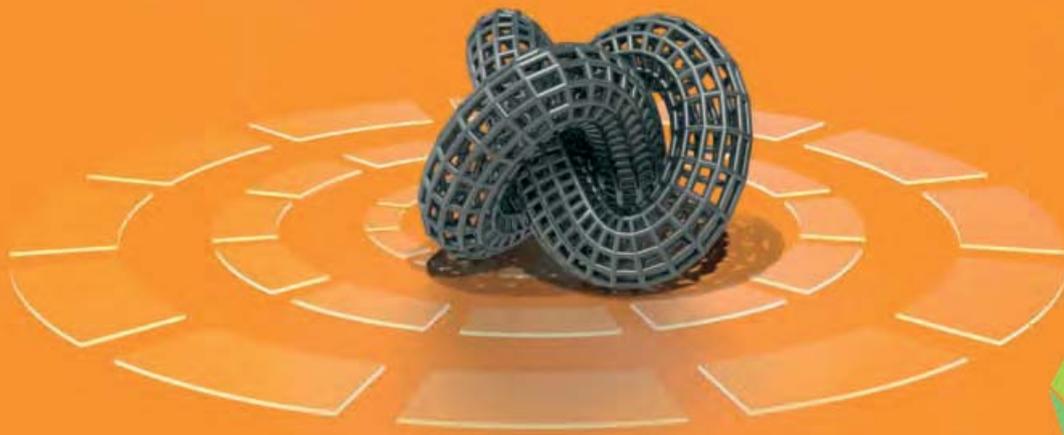
christoph.leyens@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/thermische-oberflaechentechnik

Das breite Kundenspektrum des IWS setzt Verfahren der thermischen Oberflächentechnik z. B. in den Branchen Automobilindustrie und Energietechnik, Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik, Öl- und Gasindustrie sowie Werkzeug- und Maschinenbau ein. Das Teilespektrum reicht von Abmessungen weniger Millimeter bis in den Bereich der Großbauteile von mehreren Metern Abmessungen. Die Stückzahlen beschichteter oder veredelter Bauteile beginnen bei der Einzelfertigung für die Raumfahrt und reichen bis zur Serienfertigung von Millionen Teilen pro Jahr für die Automobilindustrie.

Während der Entwicklungsphase werden die am IWS erforschten Produktlösungen regelmäßig im hauseigenen Werkstofflabor geprüft und charakterisiert. Die Ergebnisse werden mit der Prozessentwicklung rückgekoppelt, so dass am Ende eine validierte verfahrens- und werkstofftechnische Lösung an den Kunden übergeben wird.



ADDITIVE FERTIGUNG – KOMPETENZ IN WERKSTOFF- UND FERTIGUNGSTECHNIK

Die additive Fertigung von Bauteilen führt zu einem Paradigmenwechsel in der Fertigungstechnik. Durch die schichtweise Bauteilherstellung wird der Werkstoff nur dort aufgebaut, wo er notwendig ist. Darüber hinaus lassen es die neuen Freiheitsgrade in der Fertigung zu, Produkte losgelöst von den Grenzen der konventionellen Fertigungstechnik auf ihre Funktionalität hin zu optimieren und die Produktion in bislang unbekanntem Ausmaß zu flexibilisieren und neue Geometrien überhaupt erst zu realisieren. Dementsprechend groß ist das Interesse der Wirtschaft an der Qualifizierung der additiven Fertigung zur Herstellung von Produkten in Industriequalität.

Allerdings steht dem großen Potenzial der additiven Fertigung derzeit noch eine Vielzahl ungelöster Fragestellungen gegenüber. Diese können nur im engen Schulterschluss zwischen Wirtschaft und Wissenschaft beantwortet werden. Dafür steht unter anderem das vom Fraunhofer IWS Dresden initiierte Projekt »Additiv-generative Fertigung« (kurz AGENT-3D). Das aus über 100 Partnern bestehende Konsortium entwickelt die additive Fertigung maßgeblich weiter und baut das Netzwerk zwischen Industrie und Forschung zielgerichtet aus.

Mit seinem »Zentrum für Additive Fertigung Dresden« (AMCD) hat das Fraunhofer IWS im Rahmen des DRESDEN-concept gemeinsam mit der TU Dresden ein international anerkanntes Kompetenzzentrum etabliert, das verfahrensübergreifend Werkstoff- und Fertigungslösungen für herausfordernde Produkte erarbeitet. Derzeit liegt der Fokus sehr stark in den Branchen Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Energietechnik, Werkzeug- und Formenbau sowie Medizintechnik. Das Zentrum bietet eine ideale Vernetzungsplattform für die Wirtschaft mit der universitären Grundlagenforschung und der anwendungsorientierten Forschung in einem sich rasant entwickelnden Hochtechnologiefeld.

KOORDINATION

PROF. DR. FRANK BRÜCKNER

Telefon +49 351 83391-3452

frank.brueckner@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/generativefertigung

Die zur Verfügung stehende breite Verfahrenspalette umfasst unter anderem

- Laserauftragschweißen mittels Pulver und Draht,
- Selektives Laser- und Elektronenstrahlschmelzen,
- 3D-Druck

für metallische und intermetallische Werkstoffe, Kunststoffe, Funktionswerkstoffe sowie Multimaterialsysteme. Verfahrenseitig stehen neben der Prozessentwicklung auch die Entwicklung von Systemtechnik, Sensorik und Prozessdiagnostik im Mittelpunkt. Die Forschungsarbeiten des »Zentrum für Additive Fertigung Dresden« fokussieren sich auf produkt- und branchentypische Prozessketten, angefangen vom Bauteildesign, über den eigentlichen Herstellungsprozess bis hin zu Nachbehandlungs- und -bearbeitungsschritten sowie Reparatur und Recycling. Ein Mess- und Prüfzentrum für additiv gefertigte Bauteile rundet das Kompetenzspektrum ab.



ENERGIEEFFIZIENZ – DA GEHT NOCH WAS!

Der sparsame Umgang mit Energie und die Weiterentwicklung ressourcenschonender Technologien ist ein zentrales Anliegen des Fraunhofer IWS. Seit seiner Gründung hat das Institut eine Vielzahl von Technologien zur Industriereife entwickelt, die den Unternehmen und der Gesellschaft zum Teil erhebliche Energieeinsparungen ermöglichen. So konnte z. B. durch die Entwicklung einer neuartigen, lokal wirkenden Wärmebehandlungstechnologie der energetische Wirkungsgrad von Dampfturbinen gesteigert werden. Ebenso wurde durch eine Laserbehandlung der Wirkungsgrad von Transformatoren und Elektromotoren verbessert.

Die Einführung der im IWS entwickelten Technologie zum Laserstrahlschweißen im Unterrumpfbereich verschiedener Airbusmodelle ermöglicht eine deutliche Verringerung des Strukturgewichts. Für Primärstrukturen werden die durch Laserstrahlschweißen erzielten Gewichtseinsparungen auf ca. 10 Prozent beziffert.

Ein wesentliches Element zur Verbesserung der Energieeffizienz ist die Reduzierung der Reibung. Dies geht Hand in Hand mit einer Verringerung des Verschleißes und damit der Verbesserung der Materialeffizienz. Durch die im IWS entwickelten diamantähnlichen Schichten ist es gelungen, Reibung und Verschleiß deutlich zu reduzieren. Im Automobilbau beispielsweise kann hierdurch im Motoren- und Antriebsstrang der Energieverbrauch verringert werden. Das IWS-Verfahren konnte inzwischen in mehreren Anwendungen in die Serie überführt werden. Diese bahnbrechende Entwicklung wurde mit einer Reihe von Preisen ausgezeichnet.

KOORDINATION

PROF. DR. ECKHARD BEYER

Telefon +49 351 83391-3420

eckhard.beyer@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/energieeffizienz

Um den Ausbau der Region Dresden für das Zukunftsthema Energieeffizienz über die bestehenden institutionellen Grenzen hinaus voranzutreiben und Innovationen für die Wirtschaft zu beschleunigen, wurde im Jahre 2009 das »Dresdner Innovationszentrum Energieeffizienz DIZE^{EFF}« gegründet und vom IWS koordiniert. Im DIZE^{EFF} bearbeiteten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Dresden und der Dresdner Fraunhofer-Institute in zahlreichen Projekten gemeinsam Forschungsaufgaben in den Bereichen Hochleistungssolarzellen, Brennstoffzellen, Hochtemperaturenergietechnik, Leichtbau und energieeffiziente Fertigung sowie energiesparende Displays.

Aktuelle Entwicklungsarbeiten des IWS fokussieren sich unter anderem auf die Rückgewinnung von Wärmeenergie durch thermoelektrische Generatoren sowie die Reduzierung der magnetischen Verluste von Elektromotoren. Neueste Ergebnisse im Bereich Energieeffizienz präsentiert das IWS jedes Jahr auf der Hannovermesse Industrie.



BATTERIEFORSCHUNG IM IWS – TECHNOLOGIEN FÜR NEUE ENERGIESPEICHER

Die Entwicklung kostengünstiger Energiespeicher mit verbesserter Energiedichte ist die Herausforderung für eine Vielzahl von Wachstumsmärkten wie die Elektromobilität, stationäre Speicherlösungen und perspektivisch die Luftfahrt. Eine deutliche Erhöhung der spezifischen Energie von Batterien lässt sich dabei nur durch die Einführung neuer Zelltechnologien erreichen.

Seit 2010 wird am IWS die Lithium-Schwefel-Technologie weiterentwickelt. Mit diesem Werkstoffsystem lässt sich schon heute 40 Prozent mehr Energie pro Masse speichern als mit den besten Li-Ionen-Zellen auf dem Markt. Dabei befindet sich die Lithium-Schwefel-Technologie noch im Anfangsstadium der Entwicklung und das Potenzial zur Steigerung der Leistungsfähigkeit ist groß. So werden in den BMBF-geförderten Forschungsprojekten Se-paLiS (FKZ: 03XP0031A) und StickLiS (FKZ: 03XP0030B) neue Materialkonzepte entwickelt, die eine weitere Erhöhung der Energiedichte und Zyklenstabilität der Zellen versprechen.

Für die Weiterentwicklung der Li-S-Technologie ist das Elektrolytssystem eine entscheidende Schlüsselkomponente. Ein am Fraunhofer IWS Dresden neu entwickelter, nicht entflammbarer Elektrolyt ermöglicht die Umwandlung des Schwefels an der Kohlenstoffoberfläche der Kathode, verringert Korrosionsvorgänge an der Lithiumanode und erzielt infolgedessen eine erhebliche Verbesserung der Zyklenstabilität.

Entscheidend für die Markteinführung einer neuen Zellgeneration, aber auch für die Kostenreduktion bestehender Zelltechnologien, ist die Entwicklung kostengünstiger und skalierbarer Produktionsverfahren. Im Batteriezentrum des Fraunhofer IWS ist für die Erprobung neuer Verfahren eine Prozesskette zur Batteriezellfertigung etabliert worden, von der Elektrodenherstellung, über Konfektionieren und Assemblieren der Elektrodenstapel bis zur verpackten Pouchzelle.

KOORDINATION

DR. HOLGER ALTHUES

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



www.iws.fraunhofer.de/batterieforschung

Neben der klassischen Nassbeschichtung von Batterieelektroden wird an einer vollständig lösungsmittelfreien Verarbeitung der Ausgangsmaterialien zu freistehenden Elektrodenfilmen gearbeitet. Die Konfektionierung der Elektroden erfolgt mittels Laserschneiden und ist dadurch an verschiedene Zellformate anpassbar. Im Rahmen des EU-Projektes ECLIPSE (GA 687306) werden diese Verfahren für die Umsetzung eines neuen Elektrodenkonzeptes angewendet. Bei diesem Konzept perforiert ein Laser die für die Stromzuleitung verwendeten Metallfolien, wodurch bis zu 73 Prozent Gewicht dieser Komponente eingespart werden kann.

Zahlreiche Verfahren und Konzepte werden zusammen mit Industriepartnern weiterentwickelt und für die Einführung in Pilotlinien zur Fertigung zukünftiger Batteriezellen vorbereitet.

Im November 2016 fand bereits zum 5. Mal der vom IWS organisierte Workshop »Lithium-Schwefel-Batterien« in Dresden statt. Das Symposium brachte wiederum ein internationales Publikum aus Wissenschaftlern und Industriekunden zusammen. Der 6. Workshop »Lithium-Schwefel-Batterien« ist für den 6. - 7. November 2017 geplant und adressiert insbesondere potenzielle Industriekunden. www.iws.fraunhofer.de/batterie-workshop.



»TAILORED JOINING« – FÜGETECHNISCHE KOMPETENZEN IN DRESDEN

Fügen ist eine zentrale Herausforderung der Produktion und oft ein signifikanter Kostenfaktor. Aktuelle fügetechnische Entwicklungen können in vielen Fällen wichtige Verbesserungen und Impulse liefern. Daher wurde vom Fraunhofer IWS in Kooperation mit der TU Dresden und weiteren Partnern das Fügetechnische Zentrum »Tailored Joining« ins Leben gerufen. Es soll Anwendern einen Überblick über Möglichkeiten und Grenzen diverser Fügeverfahren geben, deren direkten und unvoreingenommenen Vergleich ermöglichen, Neuentwicklungen kompakt darstellen und industriebezogene Lösungen aufzeigen. Basis des Zentrums ist die international außergewöhnlich große Bandbreite an Fügeverfahren, die in Dresden intensiv untersucht und weiterentwickelt werden.

Im Bereich der anwendungsorientierten, industrienahen Entwicklung am Fraunhofer IWS betrifft das die Verfahren:

- Laserstrahlschweißen
- Laserhybridschweißen (Plasma, Lichtbogen, Induktion)
- Löten mit Laser und Reaktivmultischichten
- Magnetpulsfügen (Umformen und Schweißen)
- Rührreibschweißen
- formschlüssiges Laserstrahlfügen (Steg-Schlitz-Verbindungen)
- Diffusionsschweißen (Laser-Induktions-Walzplattieren)
- Kleben und Thermisches Direktfügen von Metall-Kunststoff-Mischverbindungen.

Der Partner TU Dresden konzentriert sich am Lehrstuhl Fügetechnik und Montage auf Verfahren und Werkzeuge in den Bereichen thermisches Fügen (Lichtbogenverfahren, Löten), umformtechnisches und mechanisches Fügen (Schrauben, Pressen) sowie Hybridfügen und beschäftigt sich mit der ganzheitlichen Planung von Montage-, Handhabungs- und Fügeprozessen.

KOORDINATION

DR. JENS STANDFUSS

Telefon +49 351 83391-3212

jens.standfuss@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/fuegetechnik

Der Dresdner Verbund wird seit 2014 aktiv durch die Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) mit ihrem Know-how zum Elektronenstrahlschweißen unterstützt. Besonderes Augenmerk legen alle Partner auf eine wertungsfreie Gegenüberstellung der verschiedenen Lösungen, so dass Anwender direkt Entscheidungshilfen für ihr jeweiliges Anliegen erhalten.

Eine bewährte Möglichkeit des Erfahrungsaustausches ist das Internationale Fügetechnische Symposium »Tailored Joining«, welches zeitgleich mit dem Internationalen Lasersymposium am 23. und 24. Februar 2016 stattfand. Wie schon bei den ersten Veranstaltungen dieser Reihe wurde eine große Bandbreite an modernen Fügeverfahren und ihre aktuellen Entwicklungen vorgestellt. Ebenso wurden Grundlagenkurse für ausgewählte Verfahren organisiert die mit praktischen Vorführungen in den jeweiligen Laboren der Partner verbunden waren. So konnten sich auch Neueinsteiger sehr schnell mit einer Technologie vertraut machen und deren Möglichkeiten und Grenzen evaluieren.

Das nächste Internationale Laser- und Fugesymposium findet vom 27. bis 28. Februar 2018 im Internationalen Congress Center Dresden statt. Mehr unter www.fuegesymposium.de.



KOMPETENZFELD WERKSTOFF-CHARAKTERISIERUNG UND -PRÜFUNG

Neue, leistungsfähige Werkstoffe sind die Grundlage und der Motor für die Entwicklung zuverlässiger und innovativer Produkte. Sie benötigen fast immer eine Anpassung der bestehenden Verarbeitungstechnologien und eine Evaluierung der erzielten Bauteileigenschaften. Eine zeitlich und inhaltlich rasche Rückkopplung zwischen den Ergebnissen der Werkstoffcharakterisierung und der Entwicklung neuer, auf die jeweilige Anwendung maßgeschneiderter Prozesstechnologien sichert dabei höchste Qualitätsstandards. Die enge Verflechtung von Werkstoffanalytik und -prüfung sind die Eckpfeiler des schlagkräftigen Teams am IWS. Es versteht sich sowohl als Partner für externe industrielle Kunden als auch als interner Dienstleister und Berater über alle Geschäftsfelder hinweg.

Ein aktuelles Forschungsfeld des IWS sind Untersuchungen zur Verbesserung der Ermüdungseigenschaften und des Widerstands gegenüber Ermüdungsrissausbreitung an einem neuen Faser-Metall-Verbund (FML) aus der Luftfahrtindustrie. Die Abstimmung der mechanischen Eigenschaften und Einstellung eines Mikrostrukturzustands, welcher im Fall einer Rissinitiation ein stabiles, kontrolliertes Ermüdungsrisswachstum garantiert, ist Voraussetzung für den Einsatz des neuen Werkstoffs für Kurz- bis Mittelstrecken-Flugzeuge in der Zukunft.

Des Weiteren wurde am IWS ein komplett neues Prüfkonzept für die Untersuchung des kombinierten Verschleiß- und Korrosionsverhaltens einer Gleitlager-Kolben-Paarung unter praxisnahen Randbedingungen entwickelt. Da Aktoriksysteme für die Automobilindustrie häufig aus beweglichen Stellelementen bestehen, die während des Betriebs einer komplexen mechanischen, tribologischen und korrosiven Beanspruchung unterliegen, war ein Prüfkonzept zu entwickeln, bei dem als Zwischenmedium u. a. AdBlue zum Einsatz kommt. Die Inbetriebnahme des neuen

SPRECHER

PROF. DR. MARTINA ZIMMERMANN

Telefon +49 351 83391-3573

martina.zimmermann@iws.fraunhofer.de



KOORDINATION

DR. JÖRG KASPAR

Telefon +49 351 83391-3216

joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de

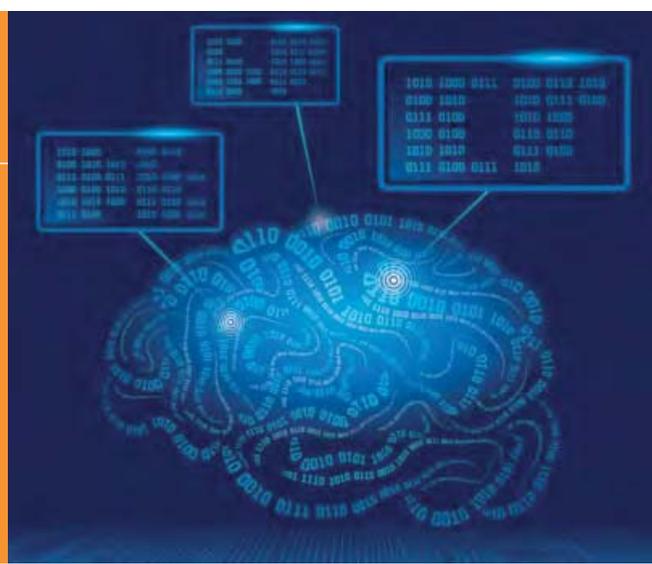


www.iws.fraunhofer.de/werkstoffcharakterisierung

Prüfkonzepts ermöglichte es, anhand von Langzeittests die versagenskritischen Bereiche und die Verschleißmechanismen eindeutig zu identifizieren.

Arbeitsschwerpunkte im Bereich der strukturellen Werkstoffcharakterisierung und Schadensanalytik sind u. a.:

- die hochauflösende Charakterisierung von reibungsmindernden Schutzschichten wie z. B. ta-C-Kohlenstoffschichten und Hartstoffschichten,
- die TEM-Analyse von Kohlenstoff- und Siliziumnanopartikeln, die für die Anwendung in zukünftigen Energiespeichern vorgesehen sind,
- die Analyse der intermetallischen Phasenbildung beim Fügen metallischer Mischverbindungen (siehe auch Seite 78/79) und
- Untersuchungen von Werkstoffgefügen und Schichten mit Focused Ion Beam (siehe auch Seite 94/95).



FRAUNHOFER PROJECT CENTER – WROCLAW CENTER OF EXCELLENCE FOR MANUFACTURING

Die Kompetenz des im Jahr 2008 gegründeten Fraunhofer Project Center Laser Integrated Manufacturing in Wrocław (IWS PCW) beruht auf den folgenden Arbeitsschwerpunkten des Fraunhofer IWS Dresden:

- Abtragen, Trennen und Fügen
- Thermisches Beschichten, Randschicht- und Mikrotechnik
- 3D-Drucken für die Medizin
- BigData-Plattform für Produktion und Medizin

Sie werden ergänzt von grundlegenden Bereichen des CAMT (Centre for Advanced Manufacturing Technologies) der Technischen Universität Wrocław wie z. B.:

- Prozessüberwachung und Datenbearbeitung
- Produktionsmanagement und Qualitätsprüfsystem
- Produktionsautomatisierung und Steuerung

Die wichtigsten Zielstellungen der Kooperation sind einerseits die Auftragsforschung und Entwicklungen für polnische Industriekunden sowie die Expansion des erfolgreichen und erprobten Fraunhofer-Geschäftsmodells in den polnischen und osteuropäischen Markt. Daneben wird die Erweiterung des Ausbildungsangebotes des Centers und die Förderung des grenzüberschreitenden wissenschaftlichen Austausches vorangetrieben.

Am Fraunhofer Project Center in Wrocław wird an neuen Methoden und Technologien für optische Messungen und Oberflächeninspektionen an schwierig zu qualifizierenden Bauteilen gearbeitet. Die Aktivitäten im Bereich Reverse Engineering sind eng verknüpft mit der Digitalisierung von physischen Objekten und der Erstellung von 3D-Computermodellen. Die Arbeiten in den Bereichen Lasermaterialbearbeitung, Rapid Prototyping und Rapid Tooling stehen in engem Zusammenhang mit den Aktivitäten im Bereich Materialprüfung.

KOORDINATION

PROF. DR. KAROL KOZAK

Telefon +49 351 83391-3717
karol.kozak@iws.fraunhofer.de



DIREKTOR

PROF. DR. EDWARD CHLEBUS

TU Wrocław
Telefon +48 71 320 2705
edward.chlebus@pwr.wroc.pl



PROJECT CENTER LASER INTEGRATED MANUFACTURING

Wrocław University of Technology
ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław, Poland

www.iws.fraunhofer.de/polen

Im Jahr 2016 wurden verschiedene Forschungsprojekte in den Bereichen Lasermaterialbearbeitung, additive Fertigung, Biotechnologie sowie industrielle Bildbearbeitung und Konturerfassung realisiert. Polnische Unternehmen beauftragten das IWS bereits mit Forschungsleistungen im Wert von 350.000 Euro.



PROJEKTGRUPPE DES FRAUNHOFER IWS AM DORTMUNDER OBERFLÄCHENCENTRUM (DOC®)

Das Dortmunder OberflächenCentrum DOC® entwickelt maßgeschneiderte Oberflächentechniken, die in kontinuierlichen Verfahren auf Stahlband applizierbar sind. Vorrangiges Entwicklungsziel ist die Verbesserung von Funktionen wie Korrosionsbeständigkeit, Kratzfestigkeit, elektrische Leitfähigkeit oder Reinigungseigenschaften. Das Fraunhofer IWS ist als Kooperationspartner direkt am DOC® mit einer Projektgruppe vertreten. Die Entwicklungstätigkeiten dieser Gruppe konzentrieren sich auf die Beschichtung von Oberflächen mittels PVD- und thermischen Beschichtungsverfahren sowie der Laseroberflächenbearbeitung.

Schwerpunkte in der Oberflächentechnik sind:

- Entwicklung leitfähiger, umformbarer Kohlenstoffschichtsysteme Graphite Like Carbon (GLC) und plasmanitrocarborierte Oberflächen für die Elektromobilität, z. B. für Al- und Cu-Elektroden für Batterien und Superkondensatoren sowie für Bipolarplatten aus Stahl für die Anwendung in Brennstoffzellen (Leitfähigkeit vergleichbar mit Gold ohne Degradation im Brennstoffzellen-Stacktest, siehe Seite 110/111)

Industrietag des IWS am Dortmunder OberflächenCentrum DOC®



KOORDINATION

DR. TEJA ROCH

Telefon +49 231 844 3894

teja.roch@iws.fraunhofer.de



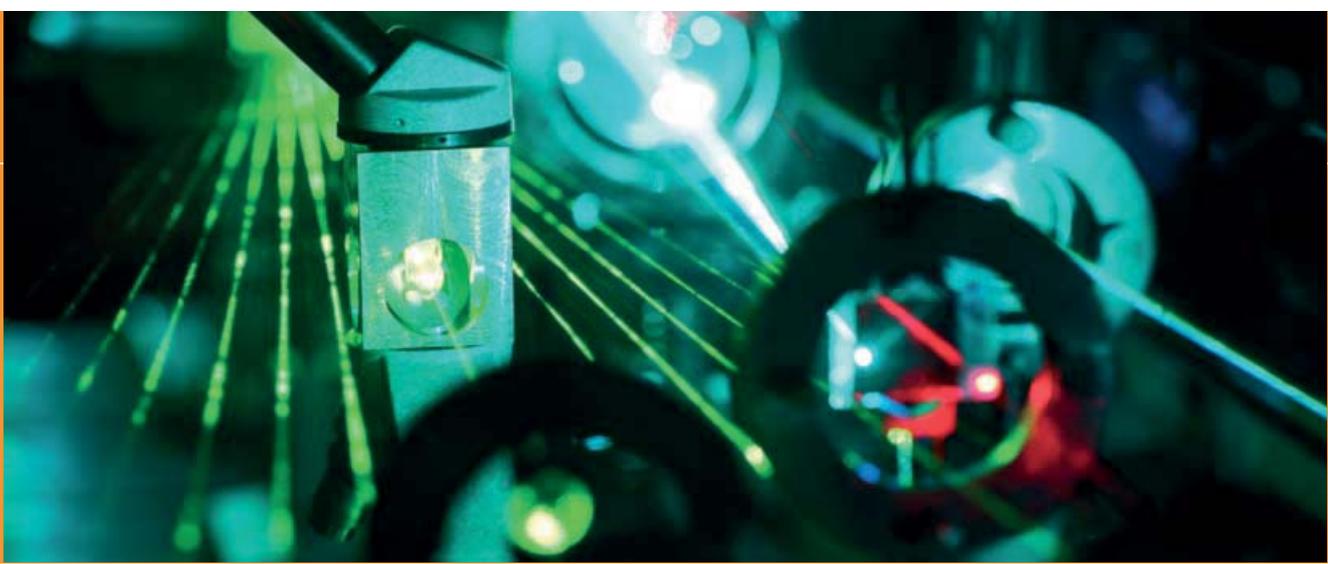
FRAUNHOFER-PROJEKTGRUPPE AM DORTMUNDER OBERFLÄCHENCENTRUM DOC®

Eberhardstraße 12

44145 Dortmund

www.iws.fraunhofer.de/dortmund

- Diamor®-Schichtsysteme (ta-C: tetraedisch amorpher Kohlenstoff) für den Verschleißschutz auf Basis des short pulsed Arc (spArc®)-Verfahrens (z. B. Beschichtung von selbstschärfenden Kochmessern)
- modernste PVD-Hochleistungsverfahren im Druckbereich über 30 mbar für die Bandveredelung und die Entwicklung von Korrosionsschutzsystemen auf Basis von Zinklegierungsüberzügen, z. B. für hochkorrosionsfeste metallische ZnMg-Überzüge und metallische ZnFe-Überzüge für die Warmumformung
- Vakuum-Lichtbogenrahtspritztechnik in der Spritzkabine oder Vakuumkammer, auch in Kombination mit dem Laser
- großflächiges Laserumschmelzen mit Hochleistungslasern zur Bandveredelung an Atmosphäre und im Vakuum (z. B. Einschmelzen von Korrosionsschutzschichten aus Zink oder Chrom auf hochfesten Stählen)



ANWENDUNGSZENTRUM FÜR OPTISCHE MESS- TECHNIK UND OBERFLÄCHENTECHNOLOGIEN

Im August 2015 hat das neue Fraunhofer IWS-Anwendungszentrum für Optische Messtechnik und Oberflächentechnologien (AZOM) seine Arbeit aufgenommen. Angesiedelt im Umfeld der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) bildet es eine Brücke zwischen dem Fraunhofer IWS in Dresden und der regionalen Wirtschaft in Westsachsen. Unterstützt wird das Fraunhofer-Anwendungszentrum vom Freistaat Sachsen, der 3 Millionen Euro für das Projekt bereitstellt.

Mit dem neuen Anwendungszentrum wird die Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik und der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) weiter ausgebaut. Dadurch wird das Anwendungsspektrum des IWS im Bereich der Oberflächenanalytik erweitert. Gleichzeitig wird einer Reihe von Studenten und Absolventen der Hochschule in Zwickau die Möglichkeit geboten, in Industrieprojekten mitzuarbeiten. 2016 hat das in den neuen Bundesländern einzigartige Fraunhofer-Anwendungszentrum seine neuen Laborräume in der Zwickauer Keplerstraße bezogen. Die neu eingerichteten Labore wurden u. a. mit optischen Tischen, Systemkomponenten und zahlreichen Messgeräten und Systemen zur Oberflächenanalyse ausgestattet, u. a. ein Glanzmessgerät und ein Elektronenmikroskop.

Das AZOM ergänzt die Palette der Kompetenzen im Bereich der industrienahen Forschung Westsachsens und eröffnet den mittelständischen Unternehmen der Region zusätzliche Marktchancen. Für Unternehmen bietet das AZOM Dienstleistungen im Bereich der Entwicklung und Erprobung von industrietauglichen optischen Messverfahren in unterschiedlichen Technologiebereichen. Das Leistungsspektrum umfasst dabei Sensoren für unterschiedliche Prozessparameter und Prozessgrößen, aber auch komplexe Messplätze und Messgeräte mit Anbindung an die Datenverarbeitung der Auftraggeber.

KOORDINATION

PROF. DR. PETER HARTMANN

Telefon +49 171 9066350

peter.hartmann@iws.fraunhofer.de



FRAUNHOFER-ANWENDUNGSZENTRUM FÜR OPTISCHE MESSTECHNIK UND OBERFLÄCHENTECHNOLOGIEN AZOM

Keplerstraße 2
08056 Zwickau

www.iws.fraunhofer.de/zwickau

Das Fraunhofer AZOM hat bereits Kooperationsprojekte mit der Industrie im Wert von ca. 250.000 Euro bearbeitet, was sich mit den neuen Labormöglichkeiten noch deutlich steigern wird. Momentan sind 10 Personen am AZOM beschäftigt. Zudem werden derzeit mehrere Promotionsarbeiten sowie Master- und Bachelorarbeiten am AZOM durchgeführt.

Feierliche Eröffnung des AZOM am 15.11.2016





CENTER FOR COATINGS AND DIAMOND TECHNOLOGIES (CCD)

Das Fraunhofer-Center for Coatings and Diamond Technologies CCD befindet sich in East Lansing, Michigan, auf dem Campus der Michigan State University (MSU). Seit dreizehn Jahren arbeiten die MSU und die IWS-Tochter CCD auf den Forschungsfeldern Dünnschicht- und Diamanttechnik zusammen. Fraunhofer CCD bietet kundenspezifische Technologielösungen durch Kombination von Prozess, Materialien und systemtechnischem Know-how mit wissenschaftlicher Exzellenz, Qualitäts- und Projektmanagement.

Im Jahr 2016 akquirierte das CCD mit seinen 15 Mitarbeitern und 15 studentischen Hilfskräften externe Erträge im Wert von etwa 2,4 Mio. US-Dollar, was gegenüber dem Jahr 2015 nahezu eine Verdoppelung darstellt. Etwa 0,8 Mio. US-Dollar sind auf direkte Aufträge aus der Industrie zurückzuführen, etwa 1,6 Mio. US-Dollar basieren auf öffentlichen Erträgen. Das Gesamtbudget des Centers beträgt etwa 3,8 Mio. US-Dollar. Der im Jahr 2015 gemeinsam mit der MSU beschlossene Expansionsplan macht weitere Fortschritte. Neue Labore wurden in Betrieb genommen, das Anlagenequipment konnte kontinuierlich modernisiert und erweitert werden.

Das von Fraunhofer CCD und MSU gemeinsam bearbeitete ARPA-E-Projekt zur Entwicklung einer Diamant-basierten Diode, die bei einer Durchbruchspannung von 1200 V und einem Vorlaufstrom von 100 A arbeitet, hat eine weitere Evaluierungsphase genommen. Diamant besitzt im Hinblick auf elektronische Anwendungen herausragende Eigenschaften, z. B. die dominierende Wärmeleitfähigkeit, die hohe Ladungsträgerbeweglichkeit und die hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit. Hinsichtlich der Diamantsynthese und Verarbeitung von qualitativ hochwertigen einkristallinen Diamantmaterialien besitzen die Partner spezifisches Prozess-Know-how und patentierte Anlagentechnik (siehe auch Seite 132/133).

KOORDINATION

PROF. DR. THOMAS SCHÜLKE

Telefon +1 517 432 8173
tschuelke@fraunhofer.org



FRAUNHOFER USA

CENTER FOR COATINGS AND DIAMOND TECHNOLOGIES CCD

Engineering Research Complex,
1449 Engineering Research Court,
East Lansing, Michigan 48824-1226, USA

www.ccd.fraunhofer.org

Gemeinsam mit der Mackinac Technology Company und der University of Michigan arbeiten die Forscher des Fraunhofer CCD an einem vom amerikanischen Verkehrsministerium bezuschussten Projekt zur Entwicklung einer antireflektierenden Beschichtung für die Windschutzscheibe von Bussen (SBIR-Projekt). Ziel der Untersuchung ist die Verbesserung der Verkehrssicherheit durch Reduzierung von Reflexionen durch die für die Fahrgäste notwendige Innenbeleuchtung (siehe auch Seite 112/113). In Phase I des Projektes hat das Team gezeigt, dass eine innovative Beschichtung aus amorphem diamantähnlichen Kohlenstoff (DLC) die Reflexion spürbar reduzieren und die Fahrersicht signifikant verbessern kann. Phase II hat das Ziel, die Technologie in Richtung einer Kommerzialisierung für Linienbusfenster voranzutreiben.



CENTER FOR LASER APPLICATIONS (CLA)

Das Fraunhofer-Center for Laser Applications CLA ist ein Ergebnis der Bündelung aller Laser-Aktivitäten von Fraunhofer USA in einem gemeinsamen Center. Im Mittelpunkt der Aktivitäten steht die Bereitstellung von Laser-Technologien und Systemen für industrielle Anwendungen. Das CLA befindet sich in Plymouth, Michigan in der Nähe von Detroit. Das 1200 m² große Laserapplikationslabor beherbergt modernstes Laser- und Anlagenequipment.

Fraunhofer CLA bietet eine breite Palette von Laserprozessen einschließlich Schweißen, Schneiden, Bohren, Beschichten, Wärmebehandeln, Oberflächenmarkieren und -strukturieren sowie additive Fertigung. Ein weiteres Spezialgebiet ist die Entwicklung von Systemtechnik zur Prozessüberwachung und Steuerung sowie Bearbeitungsköpfe zum Auftragschweißen und Generieren.

Im Jahr 2016 akquirierte das CLA mit seinen 10 Mitarbeitern und 7 studentischen Hilfskräften externe Erträge im Wert von 4 Mio. US-Dollar. Etwa 3,7 Mio. US-Dollar sind auf direkte Aufträge aus der Industrie zurückzuführen. Das Gesamtbudget des Centers beträgt etwa 4,8 Mio. US-Dollar.

Highlight des Jahres 2016 war die erfolgreiche Überführung von Prozessen und Anlagentechnik für die Additive Fertigung großer Bauteile an die GKN Aerospace, USA. Fraunhofer CLA entwickelte einen stabilen und reproduzierbaren Prozess zum Generieren von Bauteilen aus Titanlegierungen unter Schutzgasatmosphäre. Dabei kommt ein Roboter in Kombination mit dem IWS Drahtauftragschweißkopf COAXwire und des IWS-Systems zur Prozessüberwachung E-MAqS zur Anwendung. Mit der neuen Technik spart der Auftraggeber erhebliche Fertigungszeit und Materialkosten.

KOORDINATION

CRAIG BRATT

Telefon +1 734 738 0550
cbratt@fraunhofer.org



FRAUNHOFER USA

CENTER FOR LASER APPLICATIONS CLA

46025 Port St.
Plymouth, Michigan 48170-6080, USA

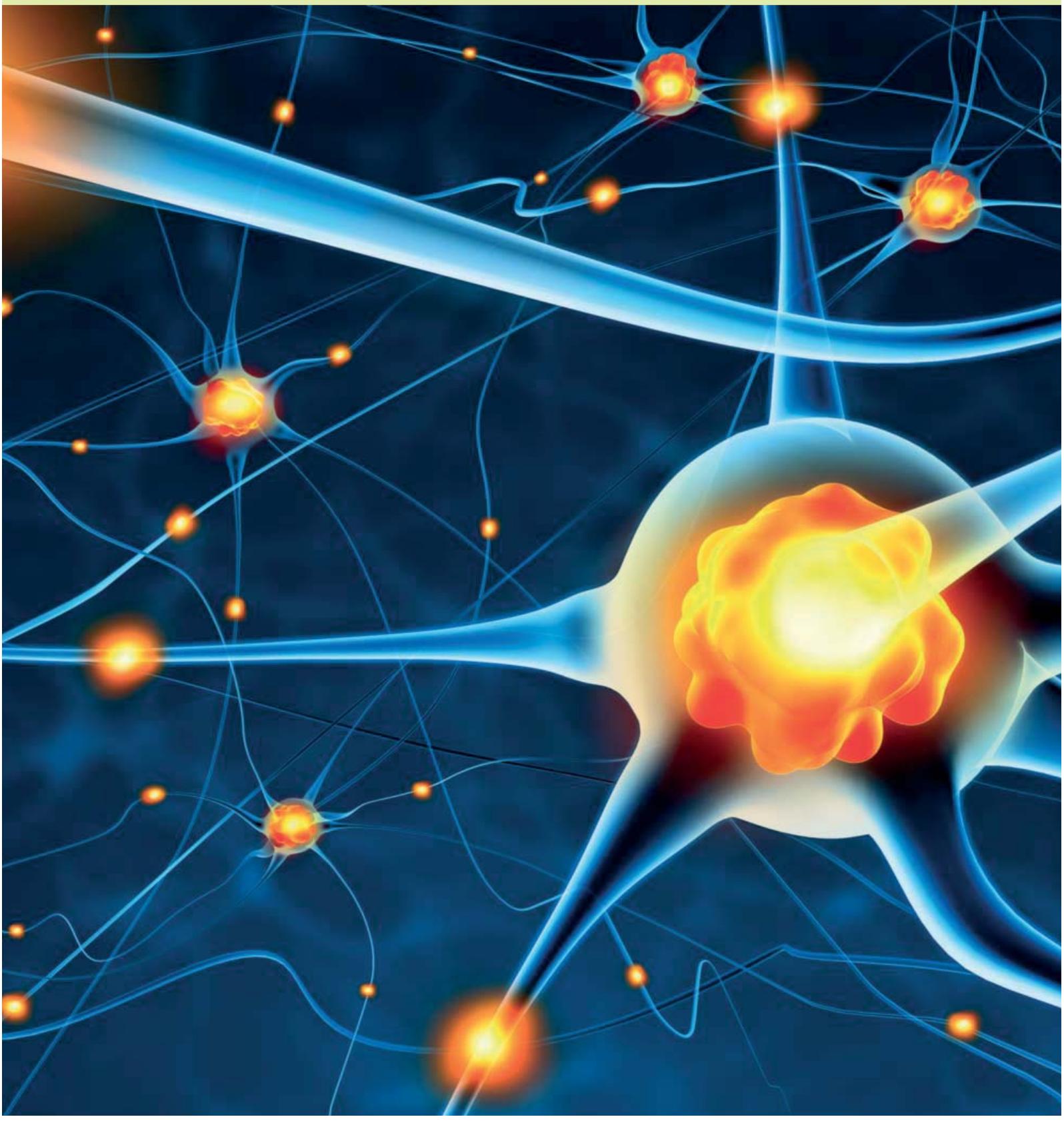
www.cla.fraunhofer.org

Große Erfolge erzielte das CLA bei der Weiterentwicklung der Systemtechnik zur Überwachung von Schweißprozessen (siehe auch Seite 80/81). Zahlreiche Schweißprozesse industrieller Kunden konnten damit optimiert werden.

Sehr erfolgreich war das Fraunhofer CLA auch bei der Einwerbung von öffentlichen Projekten. So arbeitet das Center beispielsweise zusammen mit der Firma Mackinac Technology Company und dem Fraunhofer CCD an der Verbesserung der Energieeffizienz von Fenstern in staatlichen Einrichtungen. Ziel ist die Entwicklung preiswerter gerahmter Folien mit wärmedämmender Beschichtung, die einfach im Gebäude nachrüstbar sind.

Die Beteiligung an Messen und Tagungen ist für das Center eine bewährte Möglichkeit zur Akquisition von Neukunden. Im Rahmen der ALAW 2017 lädt das Fraunhofer CLA am 7. Juni die Konferenzteilnehmer wieder zur Besichtigung ihrer Labore und zum Erfahrungsaustausch mit den Fraunhofer-Forschern ein. 2016 nutzten 150 Teilnehmer die Möglichkeiten des Open House.

NETZWERKE





Joseph von Fraunhofer

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.

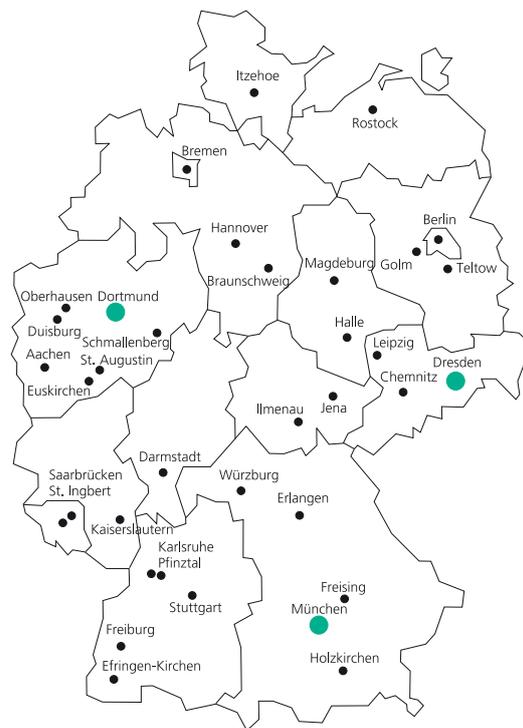
Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 69 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. 24 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen 1,9 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.

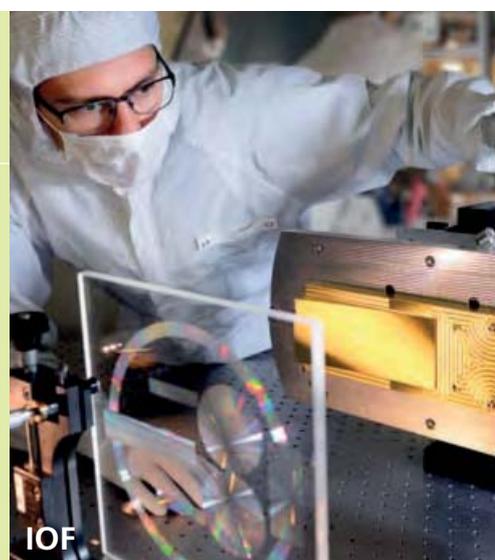
Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

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 aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten 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.





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

KONTAKT

Prof. Dr. Reinhart Poprawe (Verbundvorsitzender)

☎ +49 241 8906-110

Gabriela Swoboda (Verbundassistentin)

☎ +49 241 8906-8347

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

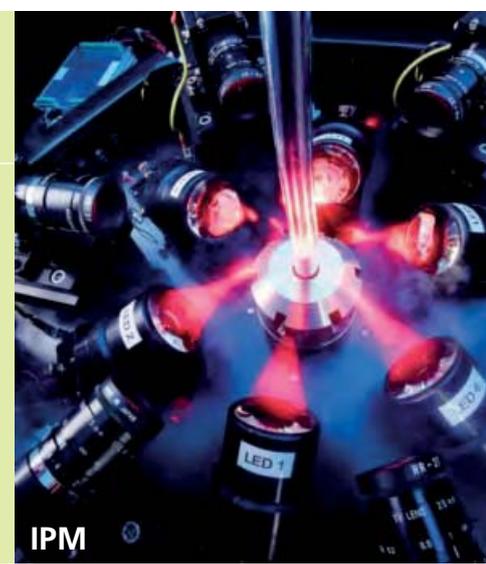
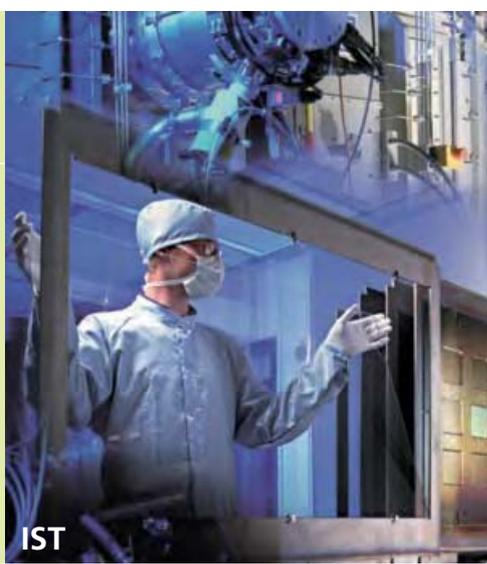
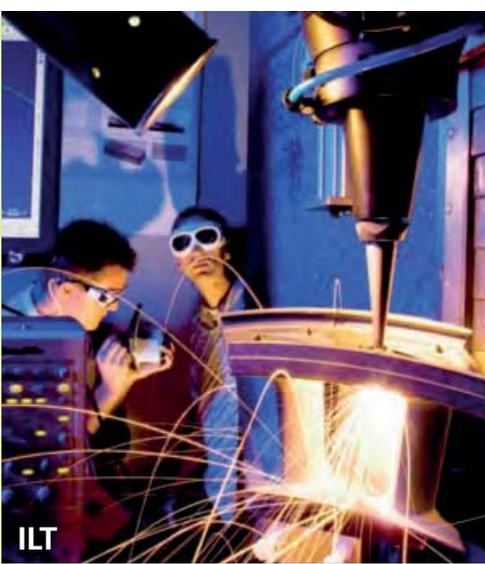
Mit über 400 Patenten seit 1985 ist das Fraunhofer ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. 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 ORGANISCHE ELEKTRONIK, ELEKTRONENSTRAHL- UND PLASMATECHNIK FEP

Das Fraunhofer FEP arbeitet an innovativen Lösungen im Bereich der Vakuumbeschichtung, der Oberflächenbehandlung und der organischen Halbleiter. Grundlage dieser Arbeiten sind die Kernkompetenzen Elektronenstrahltechnologie, Sputtern, plasmaaktivierte Hochratebedampfung und Hochrate-PECVD sowie Technologien für organische Elektronik und IC-/Systemdesign. Unsere Technologien und Prozesse finden Anwendung im Maschinenbau, im Transportwesen, der Biomedizintechnik, der Architektur und für den Kulturguterhalt, in der Verpackungsindustrie, im Bereich Umwelt und Energie, der Optik, Sensorik und Elektronik sowie in der Landwirtschaft.

🌐 www.fep.fraunhofer.de



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE OPTIK UND FEINMECHANIK IOF

Das Fraunhofer IOF entwickelt innovative optische Systeme zur Kontrolle von Licht – von der Erzeugung und Manipulation bis hin zu dessen Anwendung. Unser Leistungsangebot umfasst die gesamte photonische Prozesskette vom optomechanischen und optoelektronischen Systemdesign bis zur Herstellung von kundenspezifischen Lösungen und Prototypen. Das Institut ist in den fünf Geschäftsfeldern Optische Komponenten und Systeme, Feinmechanische Komponenten und Systeme, Funktionale Oberflächen und Schichten, Photonische Sensoren und Messsysteme sowie Lasertechnik aktiv.

www.iof.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SCHICHT- UND OBERFLÄCHENTECHNIK IST

Das Fraunhofer IST bietet als innovativer FuE-Partner Lösungen in der Oberflächentechnik, die gemeinsam mit Kunden aus Industrie und Forschung erarbeitet werden. Das »Produkt« ist die Oberfläche, die durch Modifizierung, Strukturierung und/oder Beschichtung für Anwendungen primär in den folgenden Geschäftsfeldern optimiert: »Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik«; »Luft- und Raumfahrt«; »Energie und Elektronik«; »Optik« und »Life Science und Umwelt«. Die Kompetenzen des Fraunhofer IST in der Schichtherstellung und Schichtanwendung werden unterstützt durch eine entsprechende Schicht- und Oberflächenanalytik sowie durch die Simulation der vakuumbasierten Beschichtungsprozesse.

www.ist.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS

Das IWS steht für Innovationen in den Geschäftsfeldern Fügen, Trennen sowie Oberflächentechnik und Beschichtung. Geschäftsfeldübergreifende Querschnittsthemen sind Energiespeicher, Energieeffizienz, Additive Fertigung, Leichtbau und Maschinelles Lernen. 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

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE MESSTECHNIK IPM

Das Fraunhofer IPM entwickelt maßgeschneiderte Messtechniken, Systeme und Materialien für die Industrie. Dadurch ermöglichen wir unseren Kunden, den Energie- und Ressourceneinsatz zu minimieren und gleichzeitig Qualität und Zuverlässigkeit zu maximieren. Fraunhofer IPM macht Prozesse ökologischer und gleichzeitig ökonomischer. Langjährige Erfahrungen mit optischen Technologien und funktionalen Materialien bilden die Basis für Hightech-Lösungen in der Produktionskontrolle, der Materialcharakterisierung und -prüfung, der Objekt- und Formerfassung, der Gas- und Prozesstechnologie sowie im Bereich Funktionelle Materialien und Systeme.

www.ipm.fraunhofer.de



EXZELLENTER KOOPERATIONSPARTNER TU DRESDEN

Seit dem Beginn der Kooperation mit der TU Dresden im Jahr 1997 hat das Fraunhofer IWS die Zusammenarbeit mit den verschiedenen Lehrstühlen kontinuierlich ausgebaut. Diese ermöglicht die Vereinigung des breiten Grundlagenwissens der Universität mit der anwendungsorientierten Entwicklung am IWS. Professoren und Mitarbeiter der TU Dresden sind eng in die Forschungsprojekte des IWS eingebunden und partizipieren an der technischen Ausstattung und Infrastruktur des Institutes. IWS-Führungskräfte und -Mitarbeiter unterstützen die Universität in der Ausbildung von Studenten und Doktoranden und generieren daraus ihre Nachwuchswissenschaftler. Im Folgenden die personellen Kooperationen im Einzelnen:

FAKULTÄT MASCHINENWESEN INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK

**PROFESSUR FÜR NANO- UND SCHICHT-
TECHNOLOGIE**
PROF. DR. RER. NAT.
ANDREAS LESON

Themen:

- Nanotechnik
- Dünnschichttechnologie



FAKULTÄT MASCHINENWESEN INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK

**PROFESSUR FÜR LASER- UND
OBERFLÄCHENTECHNIK**
PROF. DR.-ING.
ECKHARD BEYER

Themen:

- Lasersystemtechnik
- Laserbearbeitungsverfahren
- Plasmen in der Fertigungstechnik
- Oberflächentechnik
- Fertigungstechnik
- Laserrobotik



FAKULTÄT MASCHINENWESEN INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK

**PROFESSUR FÜR LASERBASIERTE METHO-
DEN DER GROSSFLÄCHIGEN OBER-
FLÄCHENSTRUKTURIERUNG**
PROF. DR.-ING.
ANDRÉS-FABIÁN LASAGNI

Themen:

- großflächige Herstellung von 2D- und 3D-Mikro- und Nanostrukturen
- Oberflächenfunktionalisierung
- Laserstrukturieren
- Zwei-Photonen-Polymerisation
- Simulation von Strukturierungsprozessen
- Prozessentwicklung





»Das Lernen ist wie ein Meer ohne Ufer.«
Konfuzius

**FAKULTÄT MASCHINENWESEN
INSTITUT FÜR WERKSTOFFWISSENSCHAFT**

**PROFESSUR FÜR WERKSTOFFTECHNIK
PROF. DR.-ING.
CHRISTOPH LEYENS**



Themen:

- metallische und intermetallische Hochtemperaturwerkstoffe
- Eisen- und Nichteisenwerkstoffe
- Oberflächen- und Beschichtungstechnik
- Gefüge-Eigenschaftsbeziehungen metallischer Werkstoffe
- additive Fertigung

**FAKULTÄT MATHEMATIK UND NATURWISSENSCHAFTEN
FACHRICHTUNG CHEMIE UND LEBENSMITTELCHEMIE**

**PROFESSUR FÜR ANORGANISCHE CHEMIE
PROF. DR. RER. NAT. HABIL.
STEFAN KASKEL**



Themen:

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

**FAKULTÄT MASCHINENWESEN
INSTITUT FÜR WERKSTOFFWISSENSCHAFT**

**PROFESSUR FÜR WERKSTOFFMECHANIK
UND SCHADENSFALLANALYSE
PROF. DR.-ING.
MARTINA ZIMMERMANN**



Themen:

- mechanische Eigenschaften und Mikrostruktur
- Materialermüdung (spez.: Hochfrequenzprüftechnik)
- Schadensanalyse und Schadensprävention
- Struktur- und Bauteilzuverlässigkeit

**MEDIZINISCHE FAKULTÄT
KLINIK FÜR NEUROLOGIE**

**PROFESSUR FÜR DATENVERWALTUNG
UND DATENAUSWERTUNG
PROF. DR.-ING.
KAROL KOZAK**



Themen:

- Bildbearbeitung
- Machine Learning
- BigData

AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN



Prof. Dr. **Stefan Kaskel**, Professor für Anorganische Chemie der Technischen Universität Dresden und Leiter des Geschäftsfeldes Chemische Oberflächen- und Reaktionstechnik am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS) Dresden,

erhält für seine wissenschaftlichen Arbeiten im Bereich der Energiespeichermaterialien den Award der Japan Society for the Promotion of Science (JSPS). Mit dem Preis verbunden ist ein Forschungsaufenthalt am National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) in Osaka (Japan).

Prof. Dr. Frank Mücklich, Prof. Dr. **Andrés Lasagni** und zehn ihrer Mitarbeiter an der Universität des Saarlandes, dem Steinbeis Forschungszentrum Material Engineering Center Saarland, der Technischen Universität Dresden sowie am Fraunhofer IWS erhielten einen 2. Preis des Berthold Leibinger Innovationspreises 2016. Gewürdigt wurde damit die Grundlagenforschung und Entwicklung verschiedener industrietauglicher Systeme für unterschiedliche Anwendungsbereiche der großflächigen Mikro- und Nanostrukturierung mittels Laser-Interferenz.



Auf der 15. Internationalen Conference on Nanoimprint & Nanoprint Technology erhielten Herr Rank, Herr **Lang**, Dr. **Kunze** und Prof. **Lasagni** den Preis für das beste Poster zum Thema »Direct Laser Interference Patterning of Nickel Molds/Sleeves used for thermal Plate-to-Plate and Roll-to-Roll Nanoimprint Lithography«.



Am 12. Oktober 2016 hat das **Fraunhofer IWS** Dresden den zweiten Preis der EARTO Innovation Awards 2016 in der Kategorie Impact Delivered für die Entwicklung von superharten diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtungen für eine bessere Energieeffizienz erhalten.

Diese Beschichtungen werden auf Kolbenringe und andere Teile im Antriebsstrang aufgebracht und führen zu einer durchschnittlichen Verringerung des Kraftstoffverbrauchs um 1,5 Prozent und der CO₂-Emissionen um 3 g km⁻¹. Die EARTO Innovation Awards werden seit 2009 als Anerkennung für wichtige Beiträge zu Innovationen der Forschungs- und Technologieorganisationen verliehen. Prof. Leson, Dr. Scheibe, Dr. Weihnacht und Herr Englberger (v. l. n. r.) nahmen den Preis in Brüssel entgegen.

Anlässlich der Interkulturellen Tage würdigte der Dresdner Oberbürgermeister Dirk Hilbert am 20. Dezember 2016 das **Fraunhofer IWS** Dresden für das von ihm initiierte »Sonderprogramm Integration« mit einem Anerkennungspreis. Das Projekt vermittelt Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Ingenieurinnen und Ingenieure in dreimonatige Praktika in einem Dresdner Fraunhofer-Institut. Dort werden sie ehrenamtlich durch Mentoren betreut und auf eine Ausbildung oder Weiterbeschäftigung vorbereitet.



Prof. Dr. **Stefan Kaskel**, Professor für Anorganische Chemie der Technischen Universität Dresden und Leiter des Geschäftsfeldes Chemische Oberflächen- und Reaktionstechnik am Fraunhofer IWS Dresden zählte 2016 erstmals zu den weltweit meistzitierten Forschern. Dies besagt die von Clarivate Analytics veröffentlichte Liste der »Meistzitierten Forscher und Forscherinnen« 2016 (HCR - Highly Cited Researchers).

Am 16. Dezember wurden die IWS-Preisträger des Jahres 2016 gekürt.

Für seine »Konzepte zur Bestimmung und Erweiterung der Prozessgrenzen beim Magnetpulsschweißen« wurde **Jörg Bellmann** mit dem Preis für die die beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers ausgezeichnet. Das Magnetpulsschweißen ist ein Fügeverfahren mit großem Einsatzpotenzial für eine saubere und energieeffiziente industrielle Massenfertigung, indem gepulste Magnetfelder für die Beschleunigung, gezielte Kollision und schließlich das Verschweißen der beteiligten Blech- oder Rohrbauteile sorgen. Herr Bellmann hat Konstruktion, Bau und Vermarktung eines kompakten optisch basierten Mess- und Auswertegerätes sowie die Auswertung der auftretenden akustischen Signale mittels optischer Mikrofone maßgeblich vorangebracht.

Der Preis für die beste innovative Produktidee zur Eröffnung eines neuen Geschäftsfeldes ging an die Herren Prof. Dr. **Andrés Lasagni, Matthias Bieda, Valentin Lang** und Dr. **Tim Kunze** für die Übertragung einer selbst entwickelten Interferenzstrukturierungsanlage sowie der entsprechenden Bearbeitungsmodule in die Industrie. Damit können maßgeschneiderte, industriell nutzbare Oberflächen mittels direktem Laserinterferenzverfahren hergestellt werden (siehe auch Seite 90/91).

Das Team aus den Herren **Adam Kubec, Dr. Jörg Bretschneider, Volker Franke** und **Jürgen Schmidt** erhielt den Preis für die beste wissenschaftlich-technische Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers für ihre Arbeiten zur Herstellung und Strukturierung von Multischicht Laue Linsen für die hochauflösende Röntgenmikroskopie. Für diese Linsen fertigten sie im PVD-Verfahren einen Schichtstapel mit 12.000 Einzelschichten und einer Gesamtbeschichtungsdicke von über 50 µm. Die Beschichtung wurde danach vom Substrat abgetrennt und mittels Laserstrukturierung vorkonfektioniert. Anschließend wird der so hergestellte Rohling mittels Focused Ion Beam zu einer Linse endbearbeitet. Mit Hilfe einer speziellen mechanischen Apparatur

sowie eines Halters wurden zwei Linsen senkrecht zueinander ausgerichtet, um eine Punktfokussierung zu erzielen. Bei den Tests im Röntgenstrahl konnten Strahlprofile mit einer Halbwertsbreite von unter 25 nm in beiden Richtungen erreicht werden. Dies ist für die aktuell anvisierten Anwendungen zurzeit europaweit führend.

Die Arbeiten zum »Drucken von polymerbasierten Piezosensoren mittels Aerosoldrucktechnik« von Frau **Elisa Starruß** wurden als herausragende studentische Leistung geehrt. Sie entwickelte und stabilisierte maßgeblich den Druckprozess für die Ultraschallzerstäubung und optimierte schrittweise die Betriebsparameter für zahlreiche eingesetzte Materialien.

Auch die Arbeiten von Herrn **Nikolai Schröder** wurden als herausragende studentische Leistung ausgezeichnet. Die imponierende Leistung besteht in der interdisziplinären Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Erzeugung von maschinenlesbaren Sicherheitsmerkmalen sowie eines zugehörigen magneto-optischen Detektionsgerätes. Mit der Entwicklung kann der technische Produktschutz verbessert werden.

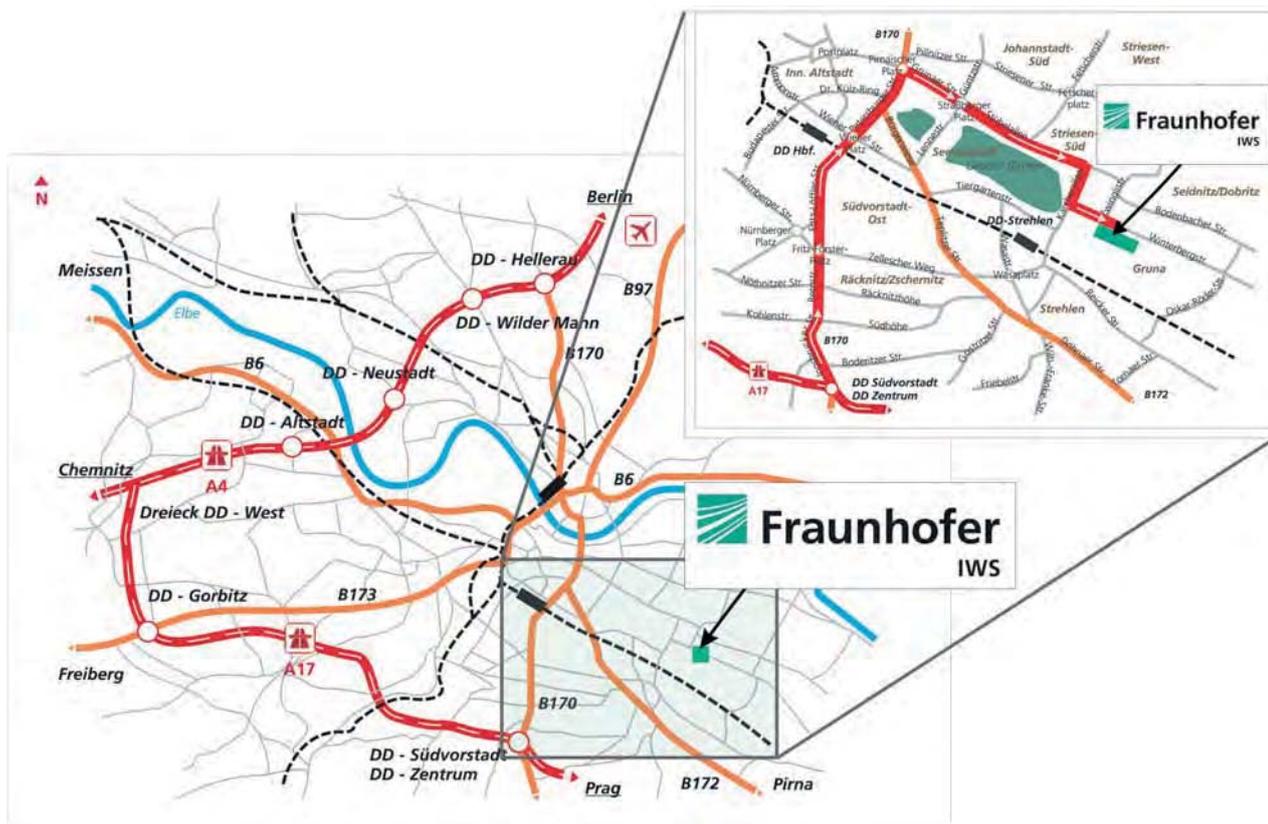
Der Sonderpreis des Institutes ging an Frau **Jana Obermann** für ihr Engagement für die Gesundheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des IWS und die Organisation des Gesundheitstages.

VERÖFFENTLICHUNGEN

Eine Liste aller wissenschaftlicher Publikationen des Fraunhofer IWS aus dem Jahr 2016 ist unter dem folgenden Link abrufbar:

<http://publica.fraunhofer.de/institute/iws/2016>

KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT



Mit dem Auto (ab Autobahn):

- Autobahn A4 oder A13 bis Dreieck Dresden-West, dann über die Autobahn A17, Ausfahrt Südvorstadt / Zentrum,
- Bundesstraße B170 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.

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).

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 mit der Straßenbahn (siehe oben).

Post-Adresse:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff-
und Strahltechnik IWS Dresden
Winterbergstraße 28
01277 Dresden

Internet-Adresse:

www.iws.fraunhofer.de

Telefon +49 351 83391-0

Fax +49 351 83391-3300

E-Mail info@iws.fraunhofer.de

IMPRESSUM

Redaktion und Koordination:	Dr. Anja Techel B.Sc. Matti Hilbert	
Gestaltung:	René Zenner Kerstin Zenner	
Bildnachweis:	S. 11, 14, 30, 147 S. 15, 21, 39, 53, 69, 101, 107 S. 18, 45 (Abb. 2), 52, 68, 84, 116, 152 (Abb. 1), 156 (Abb. 1) S. 20, 37, 38, 82, 100 S. 80, 81, 112, 113, 134, 135, 148, 149 S. 97 (Abb. 2) S. 126 (Abb. 1) S. 136 S. 138 S. 145 S. 150 S. 152 (Abb. 2, 3), 153 (Abb. 4, 5, 6) S. 154 (Abb. 1) S. 156 (Abb. 2) S. 156 (Abb. 3) S. 156 (Abb. 4) alle anderen Abbildungen	Shutterstock IWS Dresden / Jürgen Jeibmann Jürgen Jeibmann Frank Höhler Fraunhofer Group USA WHZ / Helge Gerischer SITEC Industrietechnologie GmbH Sempa Systems GmbH James Thew, Fotolia.com Fotolia.com adimas, Fotolia.com Fraunhofer IOF, FEP, ILT, IST, IPM TU Dresden, Ulrich van Stipriaan Berthold Leibinger Stiftung Thomas Blairon Andreas Tampe Fraunhofer IWS

