



Fraunhofer

IWS



Dresden



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS

JAHRESBERICHT

2014

www.iws.fraunhofer.de



JAHRESBERICHT 2014



**INSTITUTSLEITER
PROF. DR. RALF ECKHARD BEYER**



VORWORT

»Wir können den Wind nicht ändern, aber die Segel anders setzen.«

Aristoteles

Das Jahr 2014 war durch eine stabile Wirtschaftssituation in Deutschland geprägt. Auch die Bilanz des IWS war positiv. Das hohe Niveau der externen Erträge des IWS (ca. 80 Prozent) der letzten Jahre konnte stabilisiert werden. Über 40 Prozent der Erträge stammen direkt aus der Industrie. An den übrigen Projekten ist die Industrie indirekt beteiligt. Das IWS arbeitet somit nach wie vor sehr anwendungsnah. Uns ist es auch 2014 gelungen, vom IWS neu entwickelte Verfahren und Systeme in die Serienfertigung zu überführen. Von einigen Unternehmen haben wir die Erlaubnis erhalten, im Jahresbericht 2014 darüber zu berichten.

Ein Highlight ist die Überführung von Laser-Arc-Anlagen zusammen mit einer Dresdner Firma. Die im IWS entwickelte Laser-Arc-Technologie ermöglicht das Aufbringen von diamantähnlichen Schichten zur Verschleißreduzierung. Das Besondere daran ist der extrem niedrige Reibungskoeffizient, welcher letztlich den Energieverbrauch senkt.

Durch die gezielte Beeinflussung des magnetischen Flusses in Elektroblechen ist es dem IWS gelungen, den Wirkungsgrad von Transformatoren, Elektromotoren und Generatoren zu verbessern. Eine weitere ganz besonders hervorzuhebende Entwicklung ist dem IWS im Bereich der Batterieentwicklung gelungen. Die Zyklusstabilität bei den Lithium-Schwefel-Batterien sowie bei den preiswerteren Natrium-Schwefel-Batterien, welche im stationären Bereich eingesetzt werden sollen, konnte deutlich erhöht werden.

An den Zukunftsthemen Generative Fertigung und Industrie 4.0 wurde und wird am IWS intensiv gearbeitet. Ein besonderer Schwerpunkt wird dabei auf das Bauteilgenerieren mit Draht und die Sensorik gelegt. Für Industrie 4.0 stellt letztere ein Schlüsselement dar.

Um die Sichtbarkeit unserer vielfältigen Arbeiten zu erhöhen, haben wir unser Know-how in Kompetenzfeldern gebündelt. International herausragend sind:

- das Zentrum für Fügetechnik – Tailored Joining,
- das Zentrum für Batterietechnik,
- das Zentrum für Energieeffizienz und
- das Zentrum für Generative Fertigung und Drucken.

Verschiedene Arbeiten aus diesen Kompetenzfeldern werden im Jahresbericht vorgestellt.

Um es mit den Worten von Andreas Tenzer auszudrücken: »Erfolg ist die Bewegung des Potenzials in die richtige Richtung«.

Das IWS bewegt sich und sieht dem Jahr 2015 optimistisch entgegen.

Prof. Dr. E. Beyer

INHALT

DAS FRAUNHOFER IWS

VORWORT	3
INHALT	4
HIGHLIGHTS IM JAHR 2014	6
AUS DEM KURATORIUM	10
DAS INSTITUT IM PROFIL	12

AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN

FÜGEN	20
FÜGETECHNOLOGIEN FÜR METALLISCHE UND NICHTMETALLISCHE WERKSTOFFE	
THERMISCHES BESCHICHTEN UND GENERIEREN	42
SYMBIOSE ZWISCHEN BESCHICHTUNGSTECHNIK UND WERKSTOFF-KNOW-HOW	
RANDSCHICHTTECHNIK	56
GANZHEITLICHER WERKSTOFF-, VERFAHRENS- UND SYSTEMTECHNISCHER ANSATZ	
ABTRAGEN UND TRENNEN	68
DER LASER ALS WERKZEUG ZUM TRENNEN UND MIKROBEARBEITEN	
PVD-VAKUUM-SCHICHTTECHNOLOGIE	88
NEUARTIGE SCHICHTSYSTEME ERWEITERN ANWENDUNGSSPEKTRUM	
CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND REAKTIONSTECHNIK	106
NEUE TECHNOLOGIEN VERBESSERN FUNKTIONALITÄT VON OBERFLÄCHEN	



ZENTREN, NETZWERKE, EHRUNGEN

ZENTREN	122
»TAILORED JOINING«	124
BATTERIEFORSCHUNG	125
ENERGIEEFFIZIENZ	126
GENERATIVE FERTIGUNG	127
NANO IM FOKUS	128
NANOTUBES UND NANOPARTIKEL	129
KOHLENSTOFFTECHNIK	130
FASERVERBUNDTECHNIK	131
LASERINTEGRATION IN DIE FERTIGUNGSTECHNIK	132
PROZESSÜBERWACHUNG UND SENSORIK	133
DATENMANAGEMENT	134
MEDIZIN- UND BIOSYSTEMTECHNIK	135
DORTMUNDER OBERFLÄCHENCENTRUM (DOC®)	136
PROJECT CENTER LASER INTEGRATED MANUFACTURING IN WROCŁAW (PCW)	138
CENTER FOR COATINGS AND LASER APPLICATIONS (CCL)	140
NETZWERKE	142
DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT	143
FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES	144
EXZELLENTER KOOPERATIONSPARTNER: TU DRESDEN	146
BESONDERE EREIGNISSE	148
AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN	150
VERÖFFENTLICHUNGEN	152
KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT	158
IMPRESSUM	159



HIGHLIGHTS IM JAHR 2014

LUFTFAHRTFORSCHUNG AM FRAUNHOFER IWS

Forschungsarbeiten zum Laserstrahlschweißen in der Fertigung von metallischen Flugzeugumpfstrukturen sind seit Jahren ein wesentlicher Schwerpunkt des Fraunhofer IWS im Geschäftsfeld Fügen. In enger Kooperation mit dem Airbus-Konzern wurde das Verfahren in den letzten Jahren bis zur Industriereife weiterentwickelt. Im nächsten Entwicklungsschritt ist es nun das Ziel, das Rührreißschweißen zum Fügen von großformatigen, biegeschlaffen 3D-Schalen einzusetzen. Dies bedingt ein neuartiges Maschinenkonzept und eine daran angepasste intelligente Spanntechnik. Im Rahmen der Luftfahrtforschungsprogramme IV und V wird am Fraunhofer IWS Dresden ein Maschinenkonzept entwickelt, welches das Fixieren, Positionieren, Fräsen sowie das anschließende Rührreißschweißen solcher großformatiger, biegeschlaffer 3D-Schalen in einer Aufspannung ermöglicht (siehe Seite 30/31).

DICKE BLECHE EFFIZIENT SCHWEISSEN

Bauteile mit großen Blechdicken sind in einer Vielzahl von Hochtechnologie-Anwendungen zu finden. Das schweißtechnische Fügen der Bauteile stellt häufig eine große Herausforderung und wesentliche Kostenposition im Fertigungsprozess dar. Das Fraunhofer IWS hat deshalb ein neues Verfahren zum Schweißen von Blechen mit Dicken bis 50 mm entwickelt, welches konsequent den Ansatz zur Kostenreduktion verfolgt. Im Rahmen des vom VDI geförderten Projektes SIGEFILAS - neuartige Verfahren zur Überwindung verfahrenstechnischer Grenzen beim Laserstrahl-tiefschweißen von Aluminium-Leichtbaulegierungen sollen die Kenntnisse nun auf Bleche aus seewasserbeständigen Aluminiumlegierungen bis 50 mm Dicke ausgeweitet werden.

BATTERIEFORSCHUNG BEZIEHT NEUE RÄUME

Im Frühjahr 2014 übernimmt das Fraunhofer IWS die neu errichteten Labore des 3. Bauabschnittes am Campus. Damit konzentrieren sich die Forschungsarbeiten zur Entwicklung neuer Batteriewerkstoffe und Fertigungstechnologien nunmehr an einem

Standort. Das IWS widmet sich vor allem den Lithium-Schwefel- und Natrium-Schwefel-Batterien und konnte im Bereich der Werkstoffentwicklung bereits entscheidende Fortschritte erzielen. Mit dem 2014 neu gestarteten Strategieprojekt LiScell werden die Entwicklungen in diesem Bereich weiter intensiviert.

ADDITIV-GENERATIVE FERTIGUNG STARTET MIT DEM STRATEGIEPROJEKT AGENT-3D

Unter Federführung des Fraunhofer IWS Dresden hat sich ein Konsortium von inzwischen weit mehr als 60 Partnern zum Ziel gesetzt, additiv-generative Fertigung zur Schlüsseltechnologie zu entwickeln. Die 3D-Revolution zur Produktherstellung im Digitalzeitalter wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit insgesamt bis zu 45 Mio. Euro unterstützt. Das 2014 durch das Fraunhofer IWS und weitere Fraunhofer-Institute bearbeitete Strategieprojekt bildet die Grundlage für die im Jahr 2015 startenden Technologieprojekte. Ergebnisse des Strategieprojektes und Neuerungen im Bereich Generieren werden beim ersten Internationalen Symposium »Additive Fertigung ISAM« am 26. und 27. Februar 2015 in Dresden vorgestellt. www.iws.fraunhofer.de/isam

ERSTE AUSBAUSTUFE DES ZENTRUMS FÜR RESSOURCENSCHONENDE ENERGIETECHNOLOGIEN - RESET - FERTIGGESTELLT

In dem Ende 2014 fertiggestellten 4. Bauabschnitt der Fraunhofer-Institute IWS und FEP wird in den nächsten Monaten ein Zentrum für ressourcenschonende Energietechnologien aufgebaut. Ein ca. 500 m² Laborfläche umfassender Gebäudeteil des IWS beherbergt zukünftig Anlagentechnik zum Generieren mit kontinuierlicher Pulver- oder Drahtzufuhr. Ergänzt werden die additiv-generativen Fertigungsverfahren um Pulverbett-basierte Prozesse und diverse Analytik. Im zweiten Gebäudeteil des IWS mit etwa gleich großer Laborfläche werden Technologien für den konstruktiven und strukturellen Leichtbau zusammengefasst. Damit erweitert das IWS seine Kompetenzen in den Bereichen Polymer-Metall-Verbindungen sowie Faserverbundwerkstoffe.



ERSTMALIGE INDUSTRIEÜBERFÜHRUNG VON LASER MAGNET DOMAIN REFINEMENT (LMDR) MIT HILFE VON FASERLASERN

Zusammen mit den Industriepartnern Rofin-Sinar Laser GmbH und Karl H. Arnold Maschinenfabrik GmbH & Co.KG wurde bei einem Kunden in Übersee erstmalig ein Prozess implementiert, der einen Faserlaser großtechnisch zur Verbesserung der magnetischen Eigenschaften von Elektroblechen nutzt. Die kornorientierten Bleche werden zum Bau von Transformatoren verwendet. Mithilfe des »Laser Magnet Domain Refinement« genannten Prozesses lässt sich die Verlustleistung eines Transformators deutlich senken. Diese verringert sich durch die Behandlung mit dem Faserlaser um bis zu 15 Prozent gegenüber dem unbehandelten Blech. Bei der Verwendung von CO₂-Lasern wurden bereits 10 Prozent weniger Verluste erzielt. Mit dem Einsatz von vier Faserlasern mit einer Laserleistung von jeweils 3 kW an Stelle von CO₂-Lasern lässt sich das bisherige Anlagenkonzept deutlich vereinfachen.

SUSPENSIONSFÖRDERER FÜR DAS THERMISCHE SPRITZEN

Die Verwendung von Suspensionen als Spritzzusatz ermöglicht die Herstellung von Schichten mit variablen Schichtdicken, -morphologien und -eigenschaften. In Zusammenarbeit mit der Firma GTV Verschleißschutz GmbH wurde ein Fördersystem für in Form von wässrigen Suspensionen vorliegende Spritzzusatzwerkstoffe entwickelt. Dieser Suspensionsförderer besteht aus zwei separaten Druckbehältern, jeweils einer für die Bevorratung von Suspension und Reinigungsfluid. Die Förderung der Suspension erfolgt durch die Beaufschlagung des Suspensionsbehälters mit Druck, was eine pulsationsfreie Förderung gewährleistet. Nach Abschluss des Beschichtungsvorgangs erfolgt ein automatischer Spülzyklus.

Der Suspensionsförderer kann direkt an eine bestehende Spritzanlage angeschlossen werden und bietet einen stabilen Langzeitspritzprozess. Validiert wurde das System bis dato sowohl in Verbindung mit atmosphärischen Plasmaspritzprozessen als auch mit neuartigen, gasbetriebenen Hochgeschwindigkeitsflammspritzbrennern. Die erste öffentliche Präsentation des Systems zur International Thermal Spray Conference 2014 in Barcelona stieß auf große Resonanz. GTV hat bereits mehrere Systeme an internationale Kunden ausgeliefert.

WEITERE INDUSTRIEÜBERFÜHRUNGEN DER REMOTE- TECHNOLOGIE ZUM AIRBAGGEWEBESCHNEIDEN

Die vom Fraunhofer IWS zusammen mit der Firma Held Systems entwickelte kompakte Anlagentechnik zum flexiblen Laserstrahlschneiden von Airbagmaterial wurde 2014 an zwei weitere Industriekunden übergeben. Die nunmehr 13. und 14. Anlage, installiert in Rumänien sowie Mexiko, ermöglichen das Laserschneiden von ein- und mehrlagigem Gewebe mit hoher Produktivität durch den Einsatz der im IWS entwickelten Remote-Technologie.

VERSCHLEISSCHUTZ DURCH LASER-ARC-MODUL

Zur Abscheidung von superharten, amorphen Kohlenstoffschichten (Diamor®) auf Werkzeugen und Bauteilen hat das IWS Dresden ein weiteres LAM 500-System an die Firma Vakuumtechnik Dresden (VTD) übergeben. Das System wird zu einem Endkunden in Russland überführt, der zukünftig unterschiedlichste Komponenten mit reibungsmindernden ta-C-Schichten versieht.

HIGHLIGHTS IM JAHR 2014



SCHICHTANALYTIK MIT SCHALLWELLEN

Zur Bestimmung der Eigenschaften von Schichten im Nanometerbereich wurde das Messsystem LAwave® im Jahr 2014 an die Zholdau L.L.C., Kasachstan übergeben. Das System erlaubt die Bestimmung von E-Modul, Härte, Schichtdicke sowie der Tiefe von Bearbeitungs- oder Störschichten, und das zerstörungsfrei und schnell.

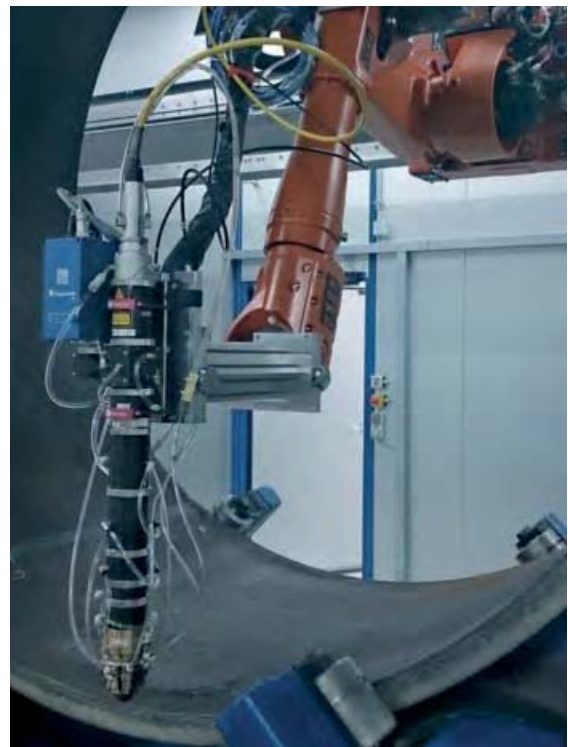
MESS- UND REGELSYSTEME FÜR INDUSTRIELLE LASER-MATERIALBEARBEITUNGSPROZESSE

Mehrere speziell für die Anforderungen der Lasermaterialbearbeitung entwickelte Temperaturmesssysteme E-MAqS® und die dazugehörige Software LompocPro konnten 2014 bei Kunden in die industrielle Fertigung überführt werden. So wurde die Regelung in Zusammenarbeit mit der Firma ALOtec Dresden GmbH erstmalig in vier mobile Laserstrahlhärtensysteme integriert. Die Applikation zielt auf eine bisher nicht mögliche Vor-Ort-Härtung von einzelnen sehr oder sogar extrem großen Bauteilen ab.

Auch mit der erstmaligen Integration von Regelsystemen zur wahlweisen Überwachung des Laserauftragschweißens oder des Laserstrahlhärtens in acht Fräsmaschinen der Firma Sauer GmbH Lasertec / DMG Mori konnten völlig neue Marktsegmente mit großem Weiterentwicklungspotenzial erschlossen werden. Die Integration des temperaturgeregelten Laserstrahlhärtens und -auftragschweißens in Fräsmaschinen ermöglicht eine sehr effiziente Prozesskettenverkürzung in einem Markt, der von sehr hohen Stückzahlen und kleineren Bauteilen dominiert wird. Neben der Regeltechnik wurden auch Pulverdüsen und Prozessparameter für das Laserauftragschweißen und Generieren an Sauer GmbH Lasertec / DMG MORI geliefert und Schulungen für das Bedien- und Verkaufspersonal durchgeführt.

BESCHICHTUNG VON GROSSBAUTEILEN

Für das NAMRC in Sheffield, UK hat das Fraunhofer IWS gemeinsam mit der GTV Verschleißschutz GmbH eine Großanlage zum Oberflächenbeschichten von Bauteilen der Energieerzeugung in die Fertigung überführt. Die Anlage zum Hochleistungs-Laser-Auftragschweißen ist mit einem 15 kW-Laser ausgestattet und besitzt einen Bearbeitungsraum von 10 x 10 x 5 m³. Das IWS hat die Pulverdüse COAXpowerline, den Breitstrahlkopf COAX11, das DCAM-Softwarepaket für die Offline-Programmierung und einen Hochleistungs-Beschichtungsprozess für Nickel-Superlegierungen entwickelt. Das Gesamtsystem ermöglicht dem NAMRC, Bauteile bis 1000 kg mit einer Auftragrate von bis 12 kg/h zu beschichten.



AUS DEM KURATORIUM



Das Kuratorium berät und unterstützt die Institutsleitung sowie die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 24. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 21. März 2014 im Fraunhofer IWS Dresden statt. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

FRANK JUNKER, DR.

Vorsitzender des Kuratoriums
Selbstständiger Berater,
Radebeul

REINHOLD ACHATZ, DR.

Leiter
Corporate Technology, Innovation & Quality,
ThyssenKrupp AG
Essen

DIETER FISCHER

Geschäftsführer EMAG Leipzig Maschinenfabrik GmbH,
Leipzig

PETER KÖSSLER

Werkleiter Ingolstadt, AUDI AG,
Ingolstadt

UWE KRAUSE, DR.

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

HANS MÜLLER-STEINHAGEN, PROF. DR.

Rektor der Technischen Universität Dresden

PETER G. NOTHNAGEL

Geschäftsführer Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH,
Dresden

MARKUS RALL, DR.

Geschäftsführer Adolf Mohr Maschinenfabrik GmbH & Co.
KG, Hofheim / Taunus

HERMANN RIEHL, MINR

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

CHRISTOPH ULLMANN, DR.

Geschäftsführer Laserline GmbH,
Mülheim-Kärlich

RENÉ UMLAUFT, DR.

Sprecher des Vorstandes, MAN Diesel & Turbo SE,
Augsburg (bis 05/2014)

FRANZ-JOSEF WETZEL, DR.

BMW Motorrad,
München

PETER WIRTH, DR.

Ehrengast des Kuratoriums
Rofin-Sinar Laser GmbH,
Hamburg

REINHARD ZIMMERMANN, MINR DR.

Leiter Referat Grundsatzangelegenheiten, Abteilung
Forschung
Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst,
Dresden



Wir können uns über ein gutes Wirtschaftsjahr 2014 freuen. Auch wenn es sich Mitte des Jahres etwas trübte, kam bereits im IV. Quartal die positive Überraschung einer insgesamt guten, aber auch vorsichtigen Gesamtwirtschaftsentwicklung. Zwei Gründe werden oft genannt:

- eine etwas stärkere Weltwirtschaft und
- der gesunkene Euro-Kurs.

Die Auswirkungen der Ukraine-Russland-Krise auf die deutsche Wirtschaft haben sich noch nicht so deutlich gezeigt wie befürchtet. Die Bundesregierung hält an der „Schwarzen Null“ fest. Das ist dann das erste Mal seit 1969 und zielt auf die Bereitstellung von zehn Milliarden Euro zusätzlicher investiver Mittel hin. Vielleicht wird eine steuerliche Förderung von Forschung und Entwicklung, wie der Industrieverband BDI es vorschlägt, möglich.

Die deutsche Wirtschaft ist solide aufgestellt, wenn man sich die aktuellen Zahlen und die Innovationen betrachtet.

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat sich mit ihren anwendungsorientierten Forschungseinrichtungen und dem Profil eines bestmöglichen Forschungsangebotes klar auf die Wirtschaft fokussiert.

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS ist auch 2014 nachhaltig dem Anspruch an hohe wissenschaftliche Leistungen gerecht geworden. Die wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Ergebnisse der Forschungsleistungen folgen der Zielstellung für Innovation, Exzellenz und Wirtschaftlichkeit. Mit anspruchsvollen wissenschaftlichen Schwerpunkten und der klaren Orientierung auf einen hohen Anwendernutzen stellt sich das IWS auch für die Zukunft sehr gut auf.

Auch die Außenstelle des IWS in den USA und der Projektpartner in Polen tragen zur erfolgreichen internationalen Ausrichtung des Institutes bei.

Die Zusammenarbeit und die Kooperation im Rahmen des DRESDEN-concept mit der Technischen Universität Dresden, den Max-Planck-Instituten, den Leibniz-Instituten und dem Helmholtz-Zentrum fördern entscheidend den Wissenschaftsstandort Dresden und den wissenschaftlichen Nachwuchs.

Wir Kuratoren folgen der positiven Entwicklung des IWS mit großer Aufmerksamkeit und unterstützen die weitere strategische Ausrichtung. Das Kuratorium dankt unseren Kunden, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, der Institutsleitung und allen Partnern für die Zusammenarbeit, die erreichten Ergebnisse und ihren Einsatz. Wir wünschen Ihnen für die Zukunft weiterhin viel Erfolg.

Dr. Frank Junker

KERNKOMPETENZEN

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

LASERMATERIALBEARBEITUNG

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

OBERFLÄCHFUNKTIONALISIERUNG UND BESCHICHTUNG

- Plasma-, Lichtbogen- und Flamspritzverfahren mit Pulver und Suspensionen
- Hochrate- und Präzisionsbeschichtungsverfahren auf Basis der physikalischen Dampfphasenabscheidung
- Laser-Arc-Verfahren als Hybridtechnologie
- Plasma- und chemisches Ätzen, Abtragen und Reinigen
- chemische Gasphasenabscheidung und Beschichtung
- Pastenauftrag (auch im Rolle-zu-Rolle-Verfahren)
- Sprühauftrag ultradünner Schichten
- Nano- und Mikrostrukturierung

SYSTEMTECHNIK

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

»Erfolg besteht darin, dass man genau die Fähigkeiten hat, die im Moment gefragt sind.«

Henry Ford



WERKSTOFFTECHNIK / NANOTECHNIK

- Ermittlung von Werkstoffkennwerten für Werkstoffauswahl, Bauteilauslegung und Qualitätssicherung
- metallographische, elektronenmikroskopische und mikroanalytische Charakterisierung der Realstruktur von Metallen, Keramiken und Schichtverbänden
- Versagens- und Schadensanalyse
- Charakterisierung der Schwingfestigkeit bis $N \leq 10^9$ durch Hochfrequenz-Ermüdung
- Thermoschockcharakterisierung von Hochtemperaturwerkstoffen
- Eigenschaftsbewertung von randschichtbehandelten, beschichteten und geschweißten Werkstoffen und Bauteilen
- optisch-spektroskopische Charakterisierung von Oberflächen und Schichten (nm- bis mm-Bereich)
- mechanisch-tribologische Charakterisierung
- Schichtdicken- und E-Modul-Messungen von nm- bis mm-Schichten mittels Laserakustik
- Ellipsometrie, Röntgenreflektometrie und -diffraktometrie
- bildgebende Oberflächenanalyse
- Elektrochemie und Elektrodenchemie
- Herstellung, Funktionalisierung und Verarbeitung von Nanopartikeln und Nanotubes

SONDERFÜGEVERFAHREN

- elektromagnetisches Pulsfügen
- 3D-Rührreibschweißen
- Kleben u. a. mit Laserreinigung und Schnellaushärtung

PROZESSSIMULATION

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



**VERWALTUNGSLEITERIN
DR. ANJA TECHEL**



»Eine Idee muss Wirklichkeit werden können, oder sie ist nur eine eitle Seifenblase.«

Berthold Auerbach

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

MITARBEITER AM IWS

	Anzahl
Stammpersonal	199
Wissenschaftler / Ingenieure (TU, FH)	143
Facharbeiter mit techn. oder kaufmänn. Ausbildung	48
Auszubildende	8
Mitarbeiter TU Dresden (Arbeitsort Fraunhofer IWS)	48
Stipendiaten + externe Mitarbeiter	9
Wissenschaftliche Hilfskräfte	210
GESAMT	466

PUBLIKATIONEN AM IWS

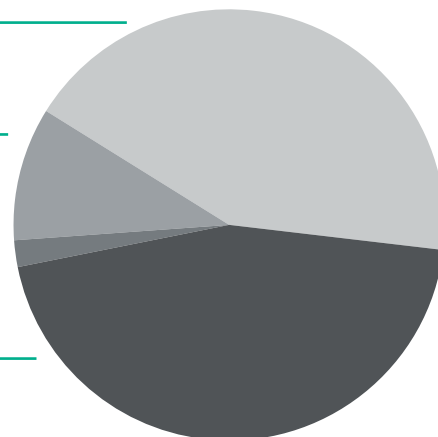
	Anzahl
Promotionen	2
Diplomarbeiten	18
Masterarbeiten	8
Veröffentlichungen	89
GESAMT	117
Patente (Erstanmeldung)	18

43 % Stammpersonal

10 % TU-Mitarbeiter

2 % Stipendiaten + externe Mitarbeiter

45 % Wissenschaftliche Hilfskräfte



MITARBEITER AM FRAUNHOFER CCL (USA)

21

Erträge 2014 (Mio. €)*	Betrieb	Investitionen	Gesamt
Projekterträge aus der Industrie	10,4	0,2	10,6
Projekterträge durch Bund, Land und EU	7,9	0,3	8,2
Grundfinanzierung und interne Programme	5,8	2,4	8,2
	24,1	2,9	27,0

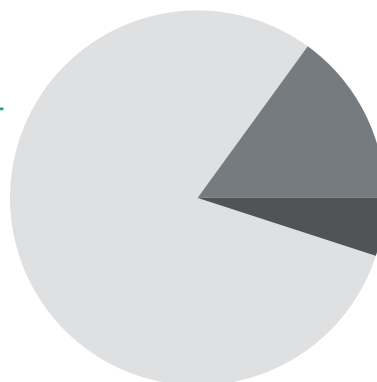
Aufwand 2014 (Mio €)*	
Personalaufwendungen	12,6
Sachaufwendungen	11,5
Investitionen	2,9
	27,0

Fraunhofer Industrie $\rho_{\text{Ind}} = 43,8 \%$

*STAND JANUAR 2015

HERKUNFT DER INDUSTRIERTRÄGE

Deutschland 80 %

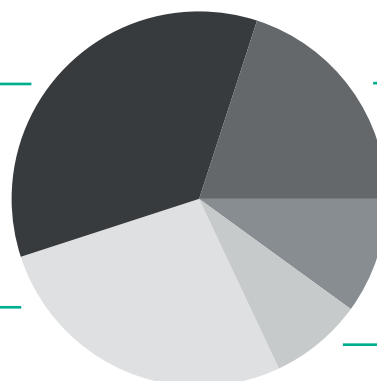


Europa 15 %

Asien 5 %

HERKUNFT DER ÖFFENTLICHEN ERTRÄGE

BMBF 35 %

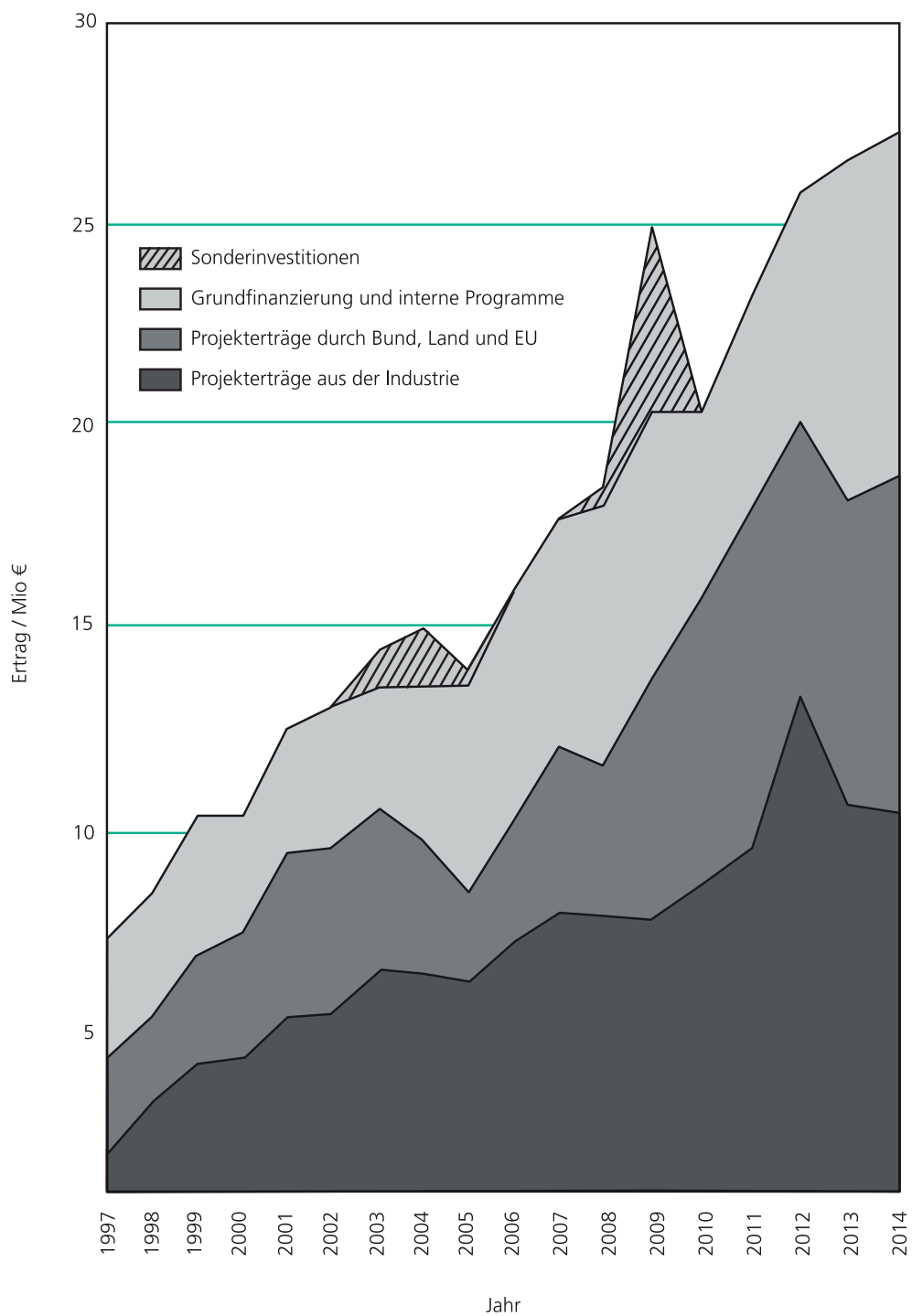


Länder 20 %

EU 10 %

Bund ohne BMBF 27 %

Sonstige 8 %



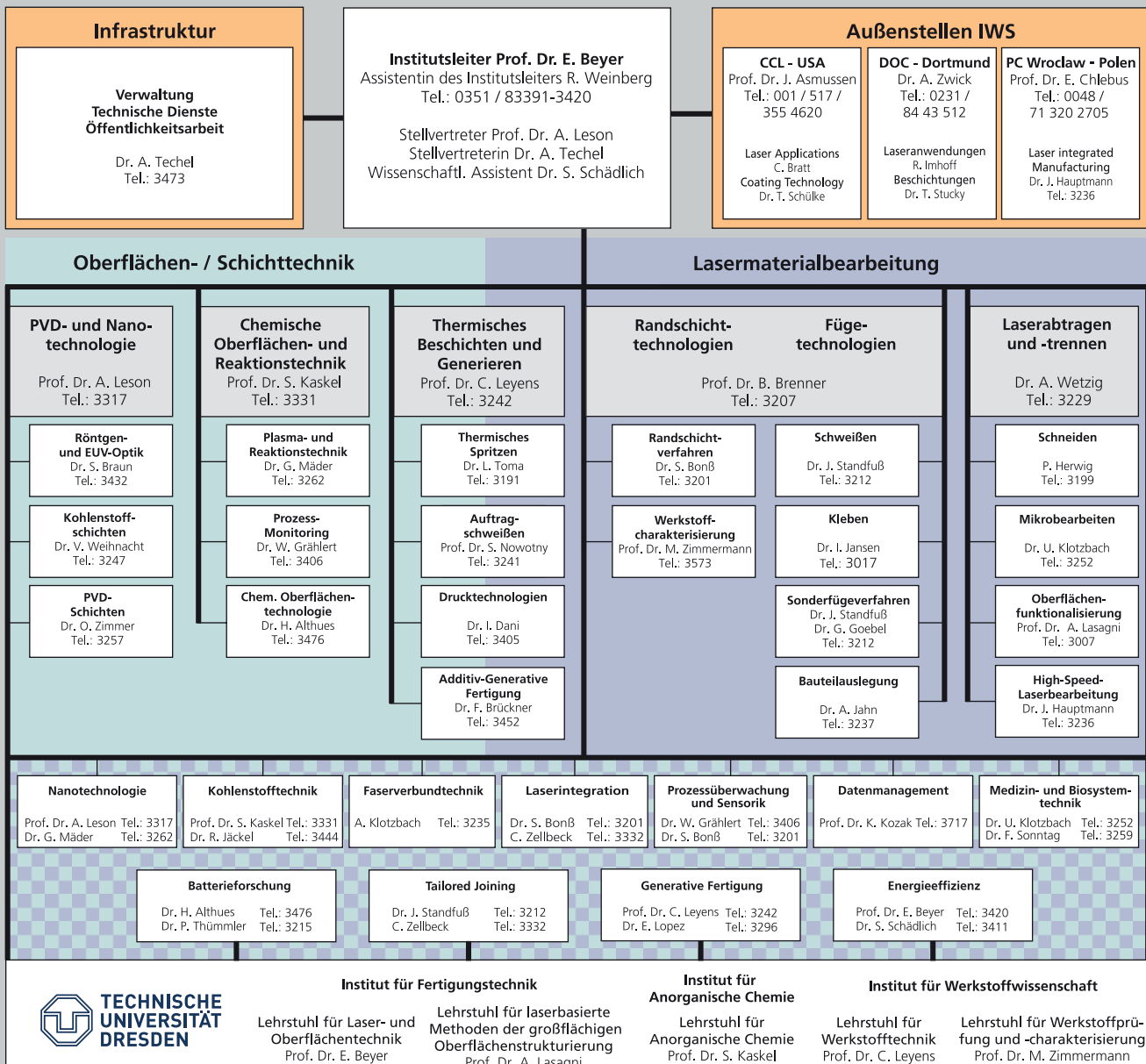
»Wo aufgeschlossene Geister und bereite Hände existieren,
wird es immer Neuland geben.«

Charles Kettering

DAS LEITUNGSTEAM



ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER



**ABTEILUNGSLEITER
PROF. DR. BERNDT BRENNER**



»Wer nicht mehr will, als er kann, bleibt unter seinem Können.«
Herbert Marcuse



GESCHÄFTSFELD FÜGEN

Redaktion: Das Fügen von Mischverbindungen durchzog die letzten Interviews wie ein roter Faden. Wie gewichten Sie das Thema derzeit?

Prof. Brenner: Der Themenkomplex ist vor dem Hintergrund eines kosteneffizienten Leichtbaus sowie eines ressourcenschonenden Materialeinsatzes durch Mischbauweisen noch wichtiger geworden. Wir verspüren auf beiden Feldern einen steigenden industriellen Bedarf. Gleichzeitig ist nur ein Bruchteil der Technologien in ihrer Komplexität erforscht oder hat Eingang in die industrielle Fertigung gefunden. Wir werden auf diesem Gebiet auch zukünftig nachfrageorientierte Beiträge liefern, indem wir unser umfangreiches Portfolio an Füge-technologien (siehe Seiten 24-41) weiterentwickeln und nach Möglichkeit zu industrieller Anwendungsreife führen. Synergieeffekte ergeben sich durch die Bedienung verschiedener Industriebranchen wie Automobilhersteller sowie Luftfahrt-, Bahn-, Zuliefer- und Halbzeugindustrie. Sowohl schon entwickelte fügetechnische Konzepte wie z. B. das beidseitig-gleichzeitige Schweißen von T-Stößen als auch anlagentechnische Realisierungen, wie sie für die Luftfahrtindustrie entwickelt wurden, können auf andere Industriezweige übertragen werden. Ein exemplarisches Beispiel dafür ist das Laserstrahlschweißen von Leichtbau-Seitenwänden für Straßenbahnen (siehe Seiten 28-29).

Redaktion: Wie weit ist die Entwicklung der dazu nötigen neuartigen Fügeverfahren gediehen?

Prof. Brenner: Die Entwicklung von Fügeverfahren, für die es noch keine industrietauglichen Lösungen gibt, erfordert auch neuartige, prozessangepasste systemtechnische Realisierungen. Wir sind deshalb auch auf dem Gebiet des Fügens dazu übergegangen, systemtechnische Lösungen und Sonderkonzepte zu entwickeln. Ein herausragendes Beispiel dafür ist das weltweit einmalige sogenannte MUVAX-System. Es

gestattet das Fügen großer biegeschlaffer 3D-Bauteile aus Aluminium mittels Rührreißschweißen und ersetzt auf 5-Achssystemen basierende extrem steife und außerordentlich aufwändige Großanlagen. Damit können wir unsere Aktivitäten zur Entwicklung neuer Füge-technologien für Flugzeug-Rumpfstrukturen auf das Fügen von 3D-geformten Panels ausdehnen und einen neuen Entwicklungsschritt in der Großkomponentenmontage von Flugzeug-Rumpfstrukturen einleiten.

Redaktion: Welche Ziele stellen Sie sich für die Weiterentwicklung des Laser-Mehrlagen-Engstspaltschweißens?

Prof. Brenner: Im Laser-Mehrlagen-Engstspaltschweißen sehen wir eine zukunftssträchtige Technologie, um bisherige Anwendungsgrenzen des Laserstrahlschweißens von Werkstoffen im Allgemeinen sowie schwer schweißbaren Werkstoffen im Besonderen nachhaltig zu überwinden. Unsere Entwicklungsanstrengungen zielen darauf ab, die Effizienz zu steigern, noch deutlich größere Einschweißtiefen zu erreichen und bisher konventionell im Tiefschweißbereich nur sehr aufwändig fügbare Werkstoffe und Werkstoffkombinationen zu fügen. Nachdem wir bisher rissfrei 50 mm Einschweißtiefe in ausscheidungshärtbaren Al-Legierungen erreicht haben, wenden wir uns in einem vom VDI-TZ Düsseldorf geförderten Projekt den naturharten Legierungen zu. Im Rahmen eines Fraunhofer-internen Projektes möchten wir darüber hinaus die verfahrens- und systemtechnischen Voraussetzungen für das Erreichen von 100 - 200 mm Schweißtiefe in Nickel-Superallegierungen schaffen und damit die Bedürfnisse einiger industrieller Hochtechnologiebranchen treffen. Für den Dünnschweißbereich dagegen setzen wir verstärkt auf eine andere neue Technologie – die Realisierung der sogenannten Steg-Schlitz-Verbindung. Sie wird es uns gestatten, einen weit größeren Bereich von Werkstoffkombinationen wie z. B. Al/Stahl, Al/Cu, Al/CFK sehr effizient zu fügen. Deren mechanische Belastbarkeit wird die des Nietens deutlich übertreffen.



KOMPETENZEN

SCHWEISSEN SCHWER SCHWEISSBARER WERKSTOFFE

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

OBERFLÄCHENVORBEHANDLUNG UND KONSTRUKTIVES KLEBEN

Um eine gute Benetzung und eine hohe Klebfestigkeit zu erreichen, werden die Fügeiteiloberflächen vor dem Kleben häufig mittels Plasma- und Lasertechniken vorbehandelt. Die Charakterisierung der Oberflächen sowie der geklebten Verbunde erfolgt mittels Kontaktwinkel-, Rauheits- und Schichtdickenmessungen, Lichtmikroskopie, REM / EDX und spektroskopischer Methoden. Durch die Integration von Carbon-Nanotubes in Klebstoffe können die Klebfestigkeiten erhöht oder / und elektrisch leitfähige Verbunde hergestellt werden. Die Arbeitsgruppe bietet Fügeflächenbehandlung und Oberflächencharakterisierung, konstruktives Kleben verschiedenster Materialien, die Bestimmung der Klebfestigkeit und Alterungsuntersuchungen sowie Beratungsleistungen in allen klebtechnischen Fragestellungen an.

SONDERFÜGEVERFAHREN

Häufig lassen sich moderne Funktionswerkstoffe nur noch eingeschränkt 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, Laserstrahllöten, Laserinduktionswalzfügen sowie dem elektromagnetischen Pulsfügen, für die Prozessentwicklungen, Prototypschweißungen und systemtechnische Weiterentwicklungen angeboten werden.

BAUTEIL AUSLEGUNG

Erhöhte Bauteilanforderungen, innovative Werkstoffe bzw. Werkstoffkombinationen sowie neuartige Fertigungsverfahren erfordern in der Regel auch neue konstruktive Ansätze. Für eine erfolgreiche Umsetzung der am Fraunhofer IWS entwickelten Verfahren, insbesondere der verschiedenen Füge- und Wärmebehandlungstechnologien, bietet die Arbeitsgruppe deshalb strukturmechanische FE-Simulationen, thermisch-mechanisch gekoppelte Berechnungen sowie deren experimentelle Verifizierung an. Zielstellung ist dabei 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.



**GRUPPENLEITER
SCHWEISSEN**

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



**GRUPPENLEITERIN
KLEBEN**

DR. IRENE JANSEN
Telefon +49 351 83391-3017
irene.jansen@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER
SONDERFÜGEVERFAHREN**

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



**GRUPPENLEITER
BAUTEIL AUSLEGUNG**

DR. AXEL JAHN
Telefon +49 351 83391-3237
axel.jahn@iws.fraunhofer.de



ABTEILUNGSLEITER

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



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2014

1. Walzplattierte Al/Cu-Verbindungen – duktil und hochbelastbar 24
2. Stahl-Aluminium-Hybridplatinen jetzt gut umformbar 26
3. Laserstrahlgeschweißte Leichtbau-Seitenwand für Schienenfahrzeuge 28
4. Neue Fügetechnologien für metallische Rumpfstrukturen 30
5. Kleben metallischer Leiter zur Übertragung elektrischer Energie 32
6. Elektromagnetisches Pulsfügen – ein neues Fügeverfahren mit Potenzial 34
7. Laser-MSG-Hybridschweißen von Mobilkranauslegern 36
8. Laser-Mehrlagen-Engstspaltschweißen von Aluminium bis 50 mm Wandstärke 38
9. Fügen von Metallschäumen für Energiespeicher 40



WALZPLATTIERTE AL/CU-VERBINDUNGEN - DUKTIL UND HOCHBELASTBAR

DIE AUFGABE

Kupfer ist bislang der bewährte Werkstoff für alle elektrischen Komponenten im Bereich der Fahrzeugelektrik. Obwohl der Cu-Preis über dem 3-fachen des Al-Preises liegt, wird der überwiegende Teil der Anschlusselemente in Fahrzeugen aus Kupfer oder Kupferlegierungen ausgeführt. Das Nichteisenmetall trägt somit einen nicht unerheblichen Anteil am Gesamtgewicht der Fahrzeuge.

In den letzten Jahren erwuchs aus der Forderung zur drastischen Reduktion des CO₂-Ausstoßes die Notwendigkeit einer stetigen Gewichtsreduzierung der Fahrzeuge. Diese bezieht sich auch auf die für die Fahrzeugelektrik/Elektronik notwendigen Komponenten. Gewichtsbezogen ist Aluminium der bessere elektrische Leiter, gleichzeitig ist es preiswert. An einer Substitution von Kupfer durch Aluminium wird bei zukünftigen Fahrzeugkomponenten kein Weg vorbei führen.

Um den Übergangswiderstand zwischen der Anschlusskomponente und dem Aluminiumdraht so gering wie möglich zu halten und ein Kriechen des Aluminiums zu unterbinden, werden für die Kontaktierung häufig Schweißverbindungen genutzt. Das Verbinden von Kupfer und Aluminium mittels Schmelzschweißverfahren führt jedoch zur Bildung von Sprödphasen am Werkstoffübergang, die die Belastbarkeit solcher Verbindungen stark herabsetzen.

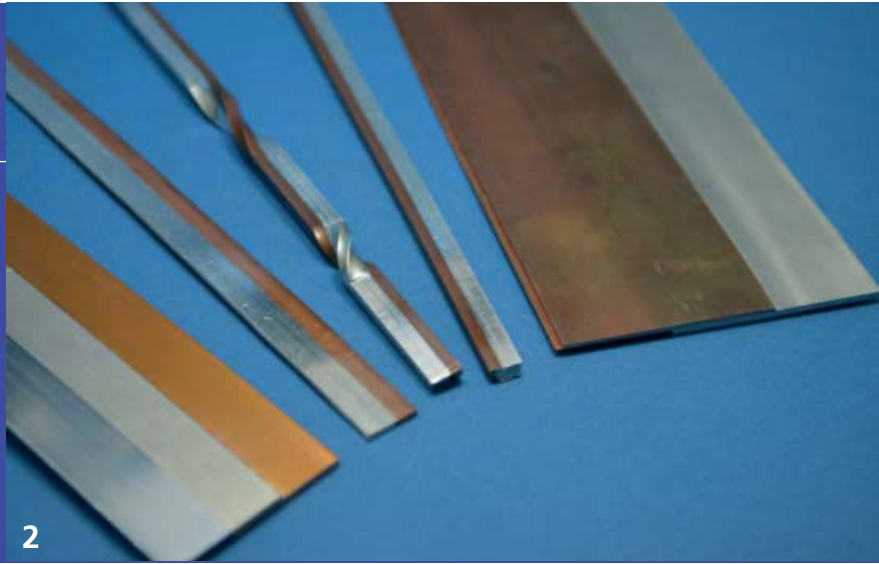
Hieraus wachsen die Forderungen nach Anschlusskomponenten, die eine Kontaktierung über Kupfer ermöglichen, sich aber auch gut mit dem Aluminium-Kabel verschweißen lassen.

UNSERE LÖSUNG

Eine Lösung stellt die Nutzung von Al/Cu-Verbundhalbzeugen dar. Sie ermöglichen entweder direkt die Fertigung von Verbindungselementen aus Al/Cu-Bimetall oder gewährleisten als zwischengekoppeltes Verbindungselement (Transition Joint) eine problemlose schweißtechnische Verbindung zwischen Aluminium und Kupfer.

Am Fraunhofer IWS Dresden wurde in Zusammenarbeit mit einem Partner aus der Industrie ein Walzplattier-Verfahren entwickelt, welches das Fügen schwer schweißbarer Werkstoffe zu festen Verbunden ermöglicht und auch für die Werkstoffkombination Aluminium und Kupfer anwendbar ist. Durch das Einbringen von Laserstrahlung werden die eigentlichen Fügeflächen unmittelbar vor dem Walzspalt auf Füge-temperatur erhitzt. Dadurch lokalisiert sich die Verformung ebenfalls nur auf den fügezonennahen Bereich.

Durch das unterschiedliche Verhalten von Aluminium und Kupfer bei der Verformung kommt es unmittelbar am Werkstoffübergang zu einem unterschiedlichen Werkstofffluss. Hierdurch wird die für die Bildung eines Sprödphasensaumes notwendige (lokale) Stöchiometrie gestört. Als Folge sind keine oder nur partiell ausgebildete Sprödphasen zu beobachten. Letztere werden bevorzugt im grenzflächennahen Mischkristallbereich des Aluminiums als Einlagerungen festgestellt und sind so quasi unschädlich gemacht. Dieses ermöglicht Werkstoffverbunde mit hoher Festigkeit und guter Kaltumformbarkeit.



ERGEBNISSE

Vom Grundaufbau ist die Laserwalzplattieranlage des Fraunhofer IWS Dresden auf das Verbinden von bandförmigen Werkstoffen ausgelegt. Abbildung 1 zeigt das Prinzip dieses Plattierverfahrens mit der Anordnung der für dieses Verfahren typischen Anlagenkomponenten. Die beiden zu fügenden Bänder werden in einem 45 ° Winkel dem Walzspalt zugeführt. Hierdurch kann ein zur Linie geformter Laserstrahl die freigelegten potenziellen Fügeflächen unmittelbar vor Einlaufen in den Walzspalt auf die für das Plattieren notwendige Temperatur erhitzen.

Mittels integrierter HF-Generatoren können beide Bänder auf die für die jeweiligen Werkstoffe geeignete Vorwärmtemperaturen gebracht werden. Das ermöglicht nicht nur die Anpassung des Verformungsverhaltens, sondern bewirkt auch eine deutliche Steigerung der Plattiergeschwindigkeit. Die erhitzten Bandabschnitte und der Bereich der Laserkontaktzone vor dem Walzspalt werden mit Schutzgas gespült.

Zur Anlage gehören weiterhin die jeweiligen Bandhaspeln, Richtwerke und Bürsten zur Reinigung der Fügeflächen. In die Anlage ist ein 8 kW Scheibenlaser eingebunden. Grundsätzlich ist die Integration anderer oder weiterer Laser möglich. Die Einstellung der jeweils notwendigen Breite der Laserlinien erfolgt über spezielle Optikkomponenten.

Durch verfahrenstypische Randbedingungen wie z. B. lokaler Energieeintrag und lokale Verformung genügen sehr geringe Gesamtverformungsgrade, um hochbelastbare Werkstoffverbunde zu erzeugen.

Das erlaubt auf der einen Seite die Möglichkeit der Fertigung von endkonturnahen Plattierungen, auf der anderen Seite ergeben sich größere Freiheitsgrade in der Dickenkombination der zu verbindenden Halbzeuge als bei konventionellen Walzplattierverfahren.

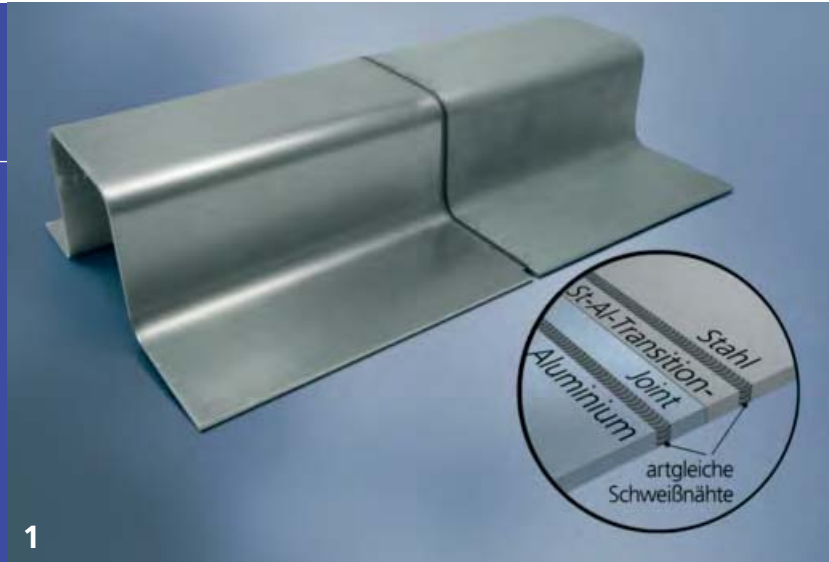
Die Breite der zu realisierenden Plattierungen wird durch die verfügbare Laserleistung bestimmt. Abbildung 2 zeigt einige typische Halbzeugformen. Da die erzeugten Fügezonen hoch belastbar sind, können schmale Verbundhalbzeuge 90 ° zur Plattierebene mittels Kaltumformung weiterverarbeitet werden. Dadurch sind quasi auch Stumpfstoßverbindungen mit sehr geringen Dicken möglich (z. B. für Transition Joints).

- 1 *Laserwalzplattieranlage, Bereich vor dem Walzspalt*
- 2 *Halbzeugformen*

KONTAKT

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





1

STAHL-ALUMINIUM-HYBRIDPLATINEN JETZT GUT UMFORMBAR

DIE AUFGABE

Leichtbaulösungen erfordern zunehmend einen belastungsangepassten Werkstoffeinsatz. Für Automobilanwendungen sind metallische Hybridkonstruktionen, z. B. aus Aluminium und Stahl, besonders interessant. Das sichere Verbinden der beteiligten Materialien untereinander stellt dabei eine wesentliche Voraussetzung dar.

Für mechanisch und thermisch belastete Fahrzeugkomponenten aus umgeformten Blechteilen sind unlösbare, stoffschlüssige Fügeverfahren am geeignetsten. Herkömmliche Schmelzschweißverfahren führen jedoch bei vielen Werkstoffkombinationen zur Bildung intermetallischer Phasen. Infolgedessen wird die Umformbarkeit der Verbindungszone deutlich reduziert, die Weiterbearbeitung erschwert und ein technischer Einsatz meist unmöglich.

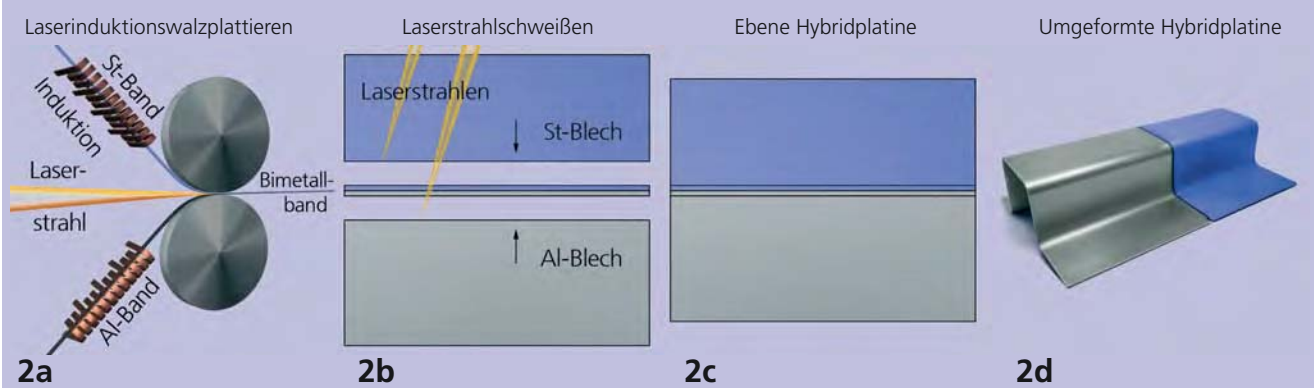
Um die Herstellung gut umformbarer Blechplatten in Multi-Materialbauweise zu ermöglichen, ist die Entwicklung eines Schmelzschweißverfahrens, welches intermetallische Phasenbildung weitgehend vermeidet, unerlässlich.

UNSERE LÖSUNG

Für das stoffschlüssige Verbinden verschiedenartiger Bleche, wurde am Fraunhofer IWS Dresden ein zweistufiges Verfahren entwickelt. Zunächst erfolgt mittels Laserinduktionswalzplattieren (Abb. 2a; Verfahrensprinzip siehe Seite 24-25) die Herstellung eines Bimetallbandes aus der gewünschten Materialkombination, beispielweise Stahl (DC04) und Aluminium (AlMg3). Die beiden bandförmigen Ausgangsmaterialien werden induktiv vorgewärmt, mit einem speziell geformten Laserstrahl auf Fügetemperatur gebracht und mittels Walzplattieren flächig miteinander verbunden. Dabei entsteht ein Halbzeug mit sehr guten Umformeigenschaften, da intermetallische Phasen nahezu vollständig vermieden werden.

Das Halbzeug dient anschließend als Bindeglied (Transition Joint) zwischen den beiden zu fügenden Blechen. Es wird beidseitig durch jeweils artgleiche Laserstrahlschweißungen angebunden (Abb. 2b, c). Aufgrund der vielfältigen geometrischen Gestaltungsmöglichkeiten des Transition Joints sind Überlapp- und Eckstöße, aber auch echte Stumpfstöße herstellbar.

Herstellung gut umformbarer Stahl-Aluminium-Hybridplatten mit Hilfe von walzplattierten Bindegliedern





ERGEBNISSE

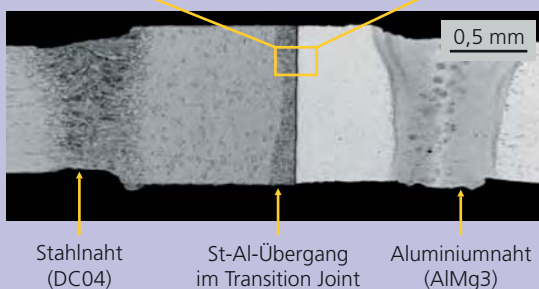
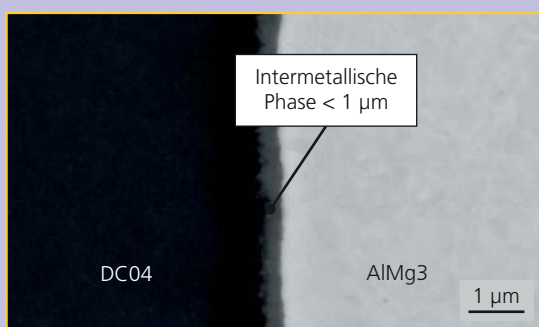
Umformversuche an Blechplatinen in Multimaterialbauweise haben gezeigt, dass mit Hilfe der Transition Joints eine hervorragende Verformbarkeit erzielt werden kann. Die im Zugversuch ermittelten Verbindungsfestigkeiten für Aluminium-Stahl-Platinen liegen durchweg im Bereich der Grundwerkstofffestigkeit von Aluminium.

Für die in Abbildung 1 und 3 dargestellten Bauteile ist die Fügezone im Stumpfstoß aufgeführt, was bisher nur bei artgleichen schmelzschweißbaren Tailored Blanks realisiert werden konnte. Damit sind auch für Multimaterialplatinen konventionelle Umformwerkzeuge einsetzbar.

Zur Beurteilung der Verbindungsqualität wurden rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Die Analysen zeigen, dass die Breite des intermetallischen Phasensaums nach dem Laserinduktionswalzplattieren weniger als $1\ \mu\text{m}$ beträgt (Abb. 4). Dieser Wert bleibt aufgrund des lokal begrenzten Energieeintrags während der folgenden Laserschweißprozesse und anschließenden KTL-Behandlung ($180\ \text{°C}$, 20 min) unverändert. Die Vermeidung von intermetallischen Phasensäumen schädlicher Dicke garantiert die sehr feste und zugleich duktile Verbindung.

Darüber hinaus belegen Crashversuche eines belastungsangepassten Kastenprofils aus Stahl- und Aluminiumblechen die gute Anwendbarkeit in potenziell schlagartig belasteten Fahrzeugstrukturen. Die für die Auslegung notwendige Kenntnis der Belastungssituation innerhalb des Bauteils basiert auf FE-Simulationen.

Schliffbilder der Verbindungszone im REM (oben) und Lichtmikroskop (unten)



4

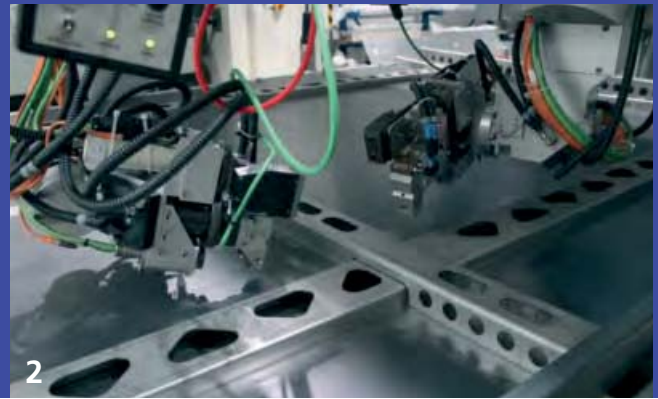
Ausgehend davon können nun auch kundenspezifische Bauteile sowohl im Herstellungsprozess als auch im Gebrauch analysiert werden. Die Angebote am Institut decken dabei die Identifikation der Belastungssituation, die Materialauswahl, die Auslegung von Hybridbauteilen, die Prozessentwicklung zum Laserinduktionswalzplattieren und Laserschweißen sowie den Nachweis der Verbindungseigenschaften ab.

- 1 *Gebogene Stahl-Aluminium-Hybridplatinen*
- 3 *Stahl-Aluminium-Tiefziehteil*

KONTAKT

Dr. Axel Jahn
 Telefon: +49 351 83391-3237
 axel.jahn@iws.fraunhofer.de





LASERSTRAHLGESCHWEISSTE LEICHTBAU-SEITENWAND FÜR SCHIENENFAHRZEUGE

DIE AUFGABE

Im Schienenfahrzeugbau sind für eine effizientere und somit kostengünstigere Fertigung von Seitenwänden bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung neue Auslegungs- und Fertigungskonzepte erforderlich. Erfolgversprechende Leichtbaukonzepte sind geschweißte, voll angeschlossene Integralstrukturen. Dieser Ansatz bedingt grundsätzlich den Einsatz eines wärmeintragsarmen, hoch effizienten Schweißverfahrens, wie das Laserstrahlschweißen mit modernsten und brillanten Strahlquellen. Im Zusammenspiel mit neuen Auslegungskonzepten für den Aufbau von Seitenwandstrukturen lässt sich zugleich eine Reduzierung von Einzelteilen, Gewicht und Fertigungszeiten erzielen.

Im Rahmen eines öffentlich geförderten Projektes war eine neuartige Seitenwandstruktur zu entwickeln, die den genannten Kriterien Rechnung trägt. Die Projektpartner präferierten hauptsächlich eine Strategie zum vollständigen Verschweißen der U-förmigen Längs- und Querversteifungselemente mit dem gekrümmten Außenhautblech. Durch die schweißtechnische Bearbeitung war der abschließende Beweis für die Umsetzbarkeit des neuartigen Seitenwandkonzeptes zu erbringen.

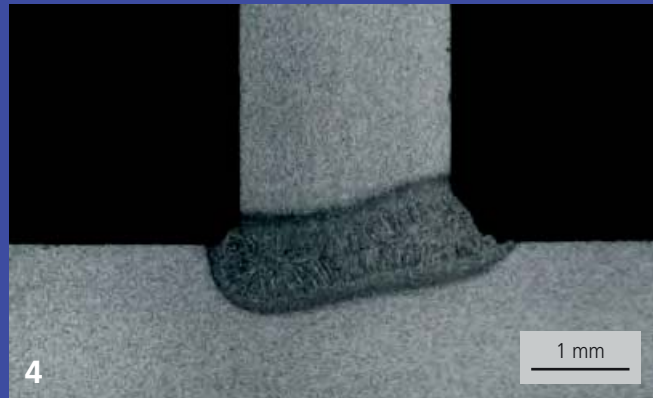
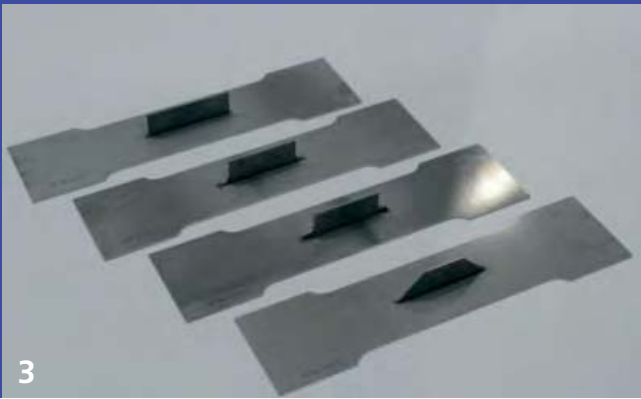
UNSERE LÖSUNG

Zur rechnerischen Abschätzung der Belastung an den mittels Laser zu fertigenden Schweißverbindungen wurden die entsprechenden Kennwerte in Zugschwingversuchen evaluiert. Ziel war die Findung von geeigneten Formen für Schweißnahtanfänge bzw. -enden. Sie müssen weitgehend unempfindlich gegen die zyklische Beanspruchung sein, die im realen Fahrzeugbetrieb permanent auftritt.

Die Effektivität des Laserstrahlschweißens steigt mit der zu schweißenden Nahtlänge. Handlings- und Positionierzeiten treten dann in den Hintergrund. Die Konstruktion der vorliegenden Seitenwand wurde daher so gestaltet, dass sich große Schweißnahtlängen gut realisieren lassen.

Der eigentliche Fertigungsprozess untergliedert sich in zwei wesentliche Schritte. Zuerst werden die durchgehenden Längsversteifungen aufgeschweißt, im Anschluss daran die unterbrochenen Querversteifungen. Vor dem vollständigen Verschweißen der Längs- bzw. Querversteifungen werden alle Profile mit hoher Geschwindigkeit und geringer Laserleistung geheftet. Die Schweißanlage des Fraunhofer IWS ist mit zwei CO₂-Lasern vom Typ DC045 ausgestattet. Das Heften und Schweißen der Profile kann dadurch beidseitig-gleichzeitig erfolgen (Abb. 1 und 2). Ein Verkippen der Profile, wie es beim einseitigen Schweißen zu erwarten ist, wird vermieden.

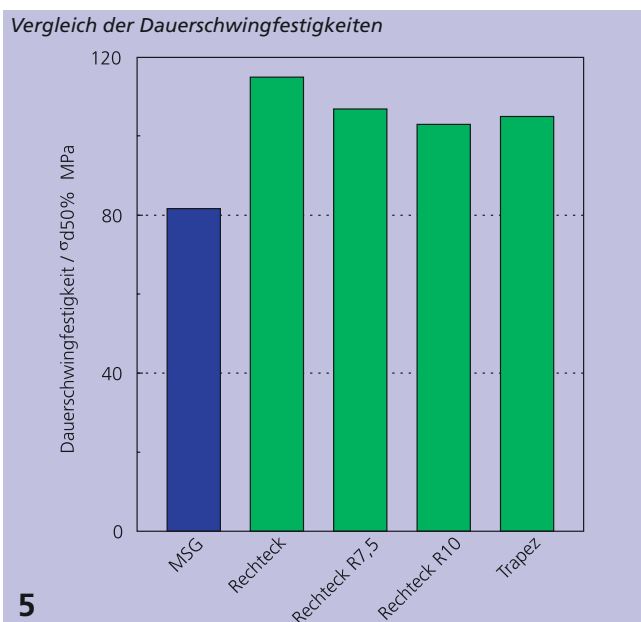
Zur Erfassung der Nahtlage während des Laserstrahlschweißens kommen an der Schweißanlage des Fraunhofer IWS optische Sensoren zum Einsatz. Bei den Längsversteifungen kann eine Online-Messmethode genutzt werden. Der Sensor erfasst, dem Schweißkopf vorlaufend, den Schnittpunkt von Profilschenkel und Hautblech. Nach einer vektoriellen Addition der Messwerte mit den zugehörigen Achspositionen ist die Nahtlage bekannt und die Schweißoptik kann entsprechend positioniert werden. Für das Verschweißen der unterbrochenen Querstreifen ist keine Online-Positionserfassung möglich. Hier werden die optischen Sensoren zur automatisierten Offline-Positionserfassung genutzt. Die erfassten Messdaten werden zunächst zwischengespeichert und anschließend direkt zu einem NC-Programm verarbeitet.



ERGEBNISSE

Für die Ermittlung der Kennwerte in Zugschwingversuchen wurden nach dem bereits erläuterten Prinzip Proben geschweißt. Als repräsentatives Bauteil wurde ein Prüfkörper aus dem Stahl S355 definiert. Ausgehend von einer Flachzugprobe wurde in Probenmitte und Beanspruchungsrichtung eine Versteifung aufgeschweißt. Als Versteifungsblech kamen sowohl rechteckige als auch trapezförmige Bleche jeweils gleicher Gesamtlänge und Höhe zum Einsatz. Bei den Prüfkörpern mit rechteckiger Versteifung wurden noch zwei zusätzliche Varianten mit unterschiedlichen Übergangsradien gefertigt (Abb. 3). MSG-geschweißte Vergleichsproben mit ebenfalls rechteckiger Versteifung standen als Referenz zur Verfügung.

Als wesentliches Ergebnis der durchgeführten Zugschwingversuche ist festzuhalten, dass alle Prüfkörpervarianten, bei denen das Versteifungsblech mittels Laserstrahlschweißen mit dem Grundblech verbunden worden war, deutlich höhere Dauerfestigkeiten liefern als die mittels MSG-geschweißten Referenzproben (Abb. 5).



Im Rahmen des Projektes wurde auch die schweißtechnische Umsetzbarkeit kompletter Seitenwandstrukturen mittels Laserstrahlschweißen nachgewiesen. Die beanspruchungs- und fertigungsgerechte Konstruktion, die Genauigkeit bei der Fertigung der Einzelteile sowie die eingesetzte flexible Spannvorrichtung ermöglichten ein nahezu spaltfreies Zusammenfügen der Versteifungselemente mit dem Außenblech. Durch Verwendung von Laserstrahlquellen hoher Strahlqualität konnte auf den sonst üblichen Einsatz von Schweißzusatzdraht zur Spaltkompensation verzichtet werden.

Durch die gesamtheitliche Betrachtung des Auslegungs- und Fertigungsprozesses gelang es, sehr verzugsarme Seitenwandstrukturen herzustellen und dabei die Anzahl der Einzelteile, das Gewicht und die Fertigungszeiten zu reduzieren. Der Aufwand für die sehr zeitaufwändige manuelle Nacharbeit in der Serienproduktion von Schienenfahrzeugen kann dadurch nachhaltig verringert werden.

Die Arbeiten wurden im Projekt »Segmentierte Straßenbahnen in Ultraleichtbauweise und strukturintegrierter Aufbautechnik« durch die Sächsische Aufbaubank (FKZ: 100508762) gefördert.

- 1 Laserstrahlgewweißte Seitenwand
- 2 Ausschnitt Seitenwand mit Schweißoptiken für Querversteifungen
- 3 Prüfkörper für Zugschwingfestigkeitsuntersuchungen
- 4 Querschliff: einseitig geschweißter T-Stoß

KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Jens Liebscher
 Telefon: +49 351 83391-3288
jens.liebscher@iws.fraunhofer.de



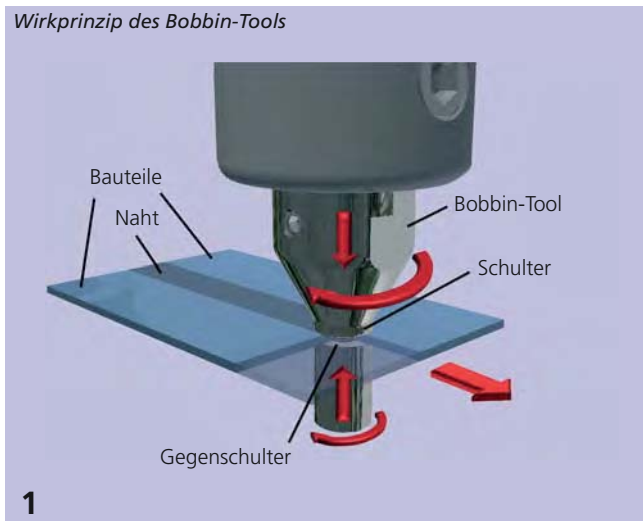


NEUE FÜGETECHNOLOGIEN FÜR METALLISCHE RUMPFSTRUKTUREN

DIE AUFGABE

In der Montage von metallischen Flugzeugrumpfstrukturen wird seit vielen Jahrzehnten das bewährte mehrreihige Nieten angewendet. Trotz des weitestgehend automatisierten Verfahrens ist der Prozess infolge hoher Prozesszeiten entsprechend kostenintensiv. Hinzu kommt der Überlappbereich an der Fügestelle, der sich negativ auf Materialkosten und Gewicht auswirkt. Im Hinblick auf die fortwährende Gewichts- und Kostenoptimierung in der Flugzeugherstellung besteht hier ein enormes Einsparpotenzial, welches allerdings die Entwicklung und Verwendung eines alternativen Fügeprozesses und angepasster, intelligenter Anlagen- und Spanntechnik bedingt. Sowohl die Prozessführung als auch das Spannen und die Positionierung biegeschlaffer 3D-Bauteile großer Dimensionen innerhalb des gegebenen Toleranzfeldes und unter Berücksichtigung der eingeschränkten Zugänglichkeit stellen dabei besondere Herausforderungen dar.

Wirkprinzip des Bobbin-Tools



UNSERE LÖSUNG

Das Fraunhofer IWS Dresden erforscht seit vielen Jahren neue Fügekonzepte für die Luftfahrtindustrie. Neben dem Laserstrahlschweißen gewinnt das Rührreibschweißen zunehmend an Bedeutung in der Fertigung von Flugzeugkomponenten. Im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms IV entwickelt das IWS intelligente Maschinenkonzepte, die sowohl das Fixieren und Positionieren großformatiger, biegeschlaffer 3D-Bauteile als auch das qualitätsgerechte Fügen dieser mittels Rührreibschweißen ermöglichen.

Die im Rührreibschweißprozess standardmäßig auftretenden erheblichen Prozesskräfte werden im Allgemeinen durch eine aufwendige Stützvorrichtung unterhalb der Fügestelle abgeleitet. Im Luftfahrtbereich hätte das infolge der Bauteilabmessungen und verschiedener Bauteilgeometrien kostenintensive Einzellösungen zur Folge. Daher setzen die Projektpartner auf den Einsatz des Rührreibschweißverfahrens ohne Widerlager und mit flexibler Spanntechnik. Verwendung finden das sogenannte Bobbin-Tool bzw. das DeltaN-Tool (Markenname der Airbus Group Innovation). Durch ihre Doppelschulter-Bauweise (siehe Abb. 1) benötigen diese keine zusätzliche Stützstruktur unterhalb der Fügestelle. Dennoch können sie den Kräfteintrag sowohl in das Bauteil als auch in die Schweißanlage deutlich reduzieren.

Die Umsetzung des evaluierten Maschinenkonzeptes erfolgt zunächst an einer Pilotanlage für dreidimensional gekrümmte Demonstratoren von bis zu 2,5 m Länge.

ERGEBNISSE

Das Rührreibschweißen ermöglicht es, die in der Luftfahrtindustrie verstärkt zum Einsatz kommenden, bisher aber nicht schweißbaren Aluminiumlegierungen unter Vermeidung der schmelzflüssigen Phase in einem Festphasen-Fügeprozess zu verbinden. Durch das Aufbringen hoher Prozesskräfte und Vermeidung der schmelzflüssigen Phase entsteht ein feinkörniges, thermomechanisch verfestigtes Schweißnahtgefüge. Umfangreiche metallographische Untersuchungen der Projektpartner zur Überprüfung der Schweißnahtqualität belegen die herausragenden Eigenschaften der Fügezone.

Der am Fraunhofer IWS Dresden entwickelte Schweißroboter bewegt sich auf einem dreidimensionalen Schienensystem mittels eines internen Antriebes autark fort. Das intelligente Spannkonzent ermöglicht über die Fixierung und Ausrichtung der gekrümmten Bauteile hinaus auch deren Positionierung für die spanende Bearbeitung der Fügekanten und den anschließenden Fügeprozess. Der für die Bearbeitung geforderte Toleranzbereich wird sicher eingehalten.

Die ersten Versuchsträger eines Flugzeugrumpfes wurden bereits erfolgreich mit diesem neuen Verfahren geschweißt (siehe Abb. 3). Durch die Anwendung eines Doppelschulter-Werkzeuges und die damit einhergehenden prozesstechnischen Vorteile kann auf eine Regelung des Schweißprozesses vollständig verzichtet werden.

Die Arbeiten erfolgten im Teilprojekt »Neue Füge-technologien für zukünftige metallische Rumpfstrukturen« innerhalb des Verbundprojektes ECO – »Wirtschaftlicher Metallrumpf Generation Best-Eco-Mix«, gefördert durch das Bundesministerium BMWi (FKZ: 20W111C).

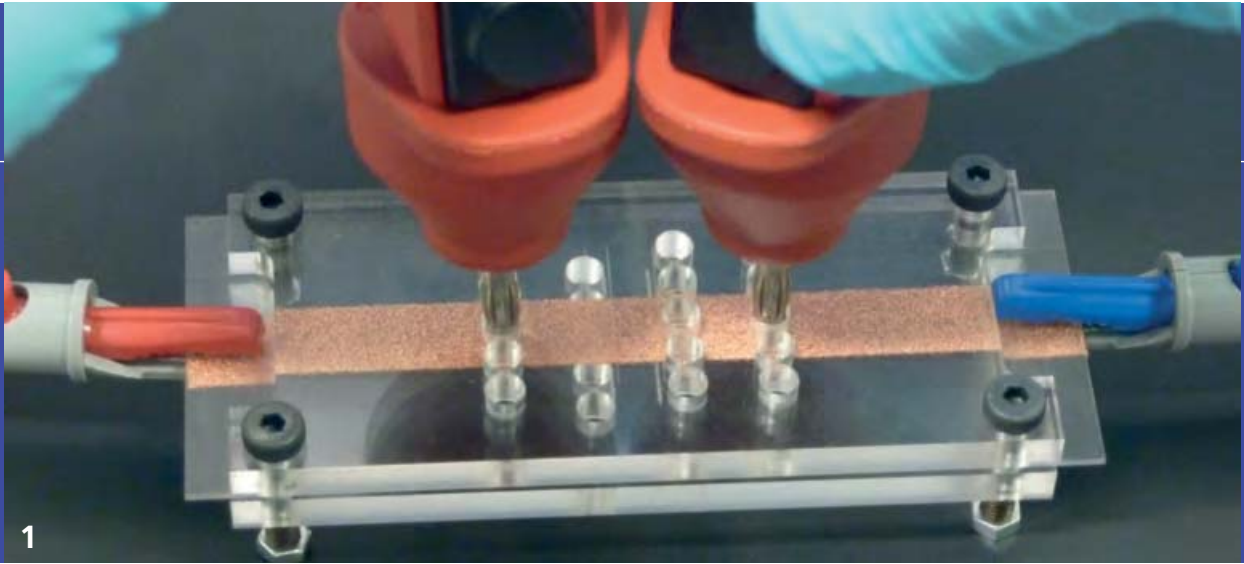
In der Weiterführung des Projektes innerhalb des Luftfahrtforschungsprogramms V, Teilprojekt FUTURE II (FKZ: 20W1302C), sind umfangreiche Weiterentwicklungen und Optimierungen des Anlagenkonzeptes vorgesehen, unter anderem eine Erweiterung der Anlage auf Bauteilabmessungen bis zu 5,0 m Länge und ein Re-Design der bisherigen Antriebsstrategie. Durch die Annäherung an reale Flugzeugrumpfgeometrien und -dimensionen soll die Basis für eine aussagefähigere Technologiebewertung hinsichtlich der Einsetzbarkeit des Systems im Rahmen der zukünftigen Großkomponentenmontage von Flugzeug-Rumpfstrukturen geschaffen werden.

- 2 *Passagierflugzeug in Metallrumpfbauweise*
- 3 *Rührreibgeschweißter Versuchsträger mit 3D-Schweißnähten, Werkstoff: Al 6xxx*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Andreas Grimm
 Telefon: +49 351 83391-3378
andreas.grimm@iws.fraunhofer.de





KLEBEN METALLISCHER LEITER ZUR ÜBERTRAGUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

DIE AUFGABE

Die Entwicklung und Integration effektiver, sicherer und kostengünstiger elektrochemischer Energiespeicher bildet in zunehmendem Maße eine unverzichtbare Schlüsseltechnologie für den Einsatz in der Elektromobilität sowie zur Intensivierung einer nachhaltigen Stromversorgung aus erneuerbaren Energien. Um eine zuverlässige Stromversorgung zu gewährleisten, müssen stark diskontinuierliche und zum Teil schwer planbare Einspeisekapazitäten sowie Lastschwankungen durch Zwischenspeicher ausgeglichen werden.

Ausschlaggebend für die Funktion der in der Regel aus mehreren einzelnen Zellen aufgebauten Batteriespeicher ist eine zuverlässige Kontaktierung entlang des Strompfades. Um einen über die Lebensdauer hinweg niedrigen Verbindungswiderstand und damit einhergehend eine funktionstüchtige und sicherheitsunbedenkliche Batteriezelle zu gewährleisten, dürfen sich diese Widerstände nicht wesentlich erhöhen.

Die Zellassemblierung der voneinander elektrisch isolierten und jeweils mehrfach parallel geschalteten Anoden- und Kathodenfahnen mit den Zelleleitern erfolgt bislang weitgehend durch Ultraschallschweißen. Dabei eingebrachte mechanische Schwingungen können sogenannte Softshorts, durch Teile abgelösten Aktivmaterials zwischen den Elektroden, verursachen.

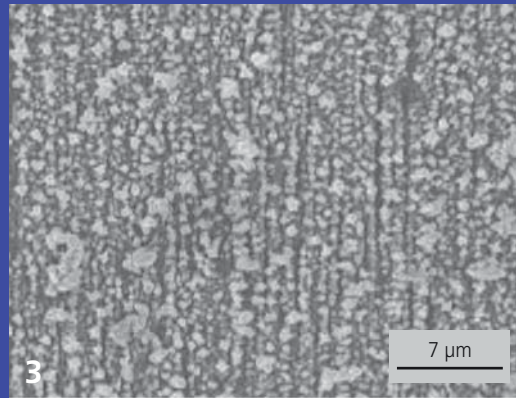
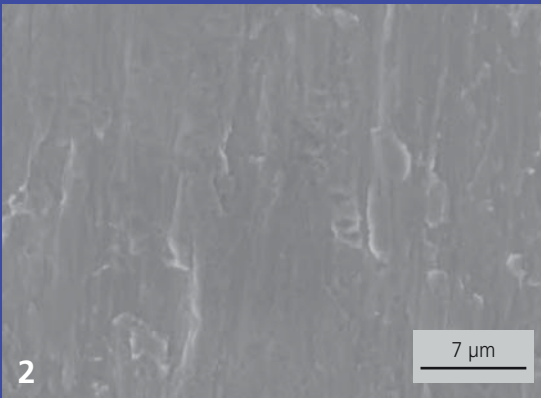
Des Weiteren erfordern alle bislang bekannten Verfahren zur Herstellung und Kontaktierung derartiger Zellstapel über den gesamten Stapelvorgang hinweg eine aufwendige Fixierung oder Positionierung der Kontaktfahnen. Gesucht werden deshalb neue Verfahrenslösungen mit industriellem Anwendungspotenzial.

UNSERE LÖSUNG

Für die elektrische Kontaktierung in Bereichen mit niedrigem Verbindungswiderstand, in denen andere Fügeverfahren aus technologischen oder ökonomischen Gründen nicht oder nur mit Einschränkungen eingesetzt werden können, bietet das Fraunhofer IWS Dresden eine alternative Verfahrenslösung.

Durch Verwendung eines speziell auf den jeweiligen Anwendungseinsatz abgestimmten Klebstoffsystems, in Kombination mit einer Oberflächenvorbehandlung oder -strukturierung wird bis zur Aushärtung des Klebstoffsystems eine ausreichend hohe Druckbeanspruchung in den Fügebereich eingebracht, so dass eine plastische Verformung der Mikrokontakte bewirkt wird. Die so ausgebildete elektrisch leitende Kontaktfläche ist dabei um ein Vielfaches kleiner als die geometrisch scheinbare Berührungsfläche der Fügeteile. Die verbleibende und nicht durch Mikrokontakte gebildete Fläche steht der Verbindung als Klebfläche zur Verfügung.

Zur Fixierung und elektrischen Kontaktierung der Stromsammelervfolien mit den Zelleleitern während des Stapelvorgangs bei der Herstellung von Li-Ionen-Zellen wurde ein gegen den Elektrolyten chemisch beständiges Klebstoffsystem ausgewählt, welches selbst elektrisch isolierende Eigenschaften (elektr. Leitfähigkeit $5 \cdot 10^{-12} \text{ S/m}$) aufweist und innerhalb weniger Sekunden aushärtet. Um Partikelmigrationen während der auftretenden Gleichstrombelastung in den Lade- und Entladevorgängen der Zelle auszuschließen, wurde bewusst auf die Verwendung leitfähiger Additive im Klebstoff verzichtet.

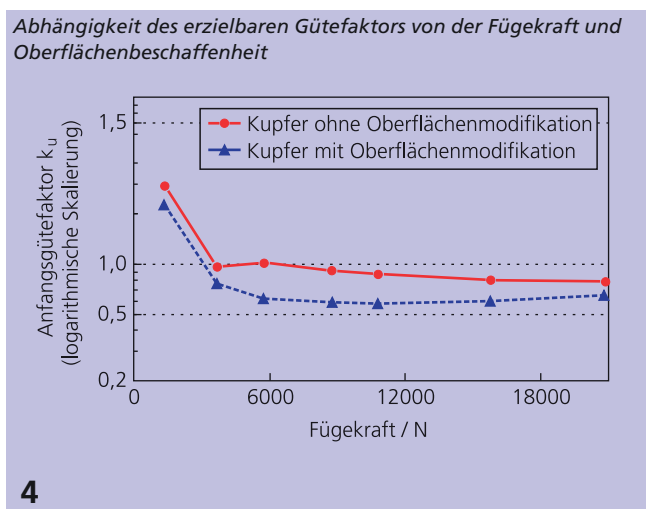


ERGEBNISSE

Gegenüber herkömmlichen Klebungen im Bereich der elektrischen Kontaktierung zur Übertragung meist kleiner Ströme oder Leistungen können mit dieser Methode stromtragfähige Kontakte erzeugt werden, welche die deutlich höheren Anforderungen der elektrischen Energietechnik erfüllen. Derartige geklebte Verbindungen können innerhalb sehr kurzer Zeiträume hergestellt werden und Verbindungswiderstände im Bereich weniger $\mu\Omega$ erzielen.

Weitere Vorteile bestehen in der einfachen Verbindung unterschiedlicher Leiterwerkstoffe und Geometrien der Kontaktpartner sowie dem Einsatz über weite Temperaturbereiche hinweg (z. B. von flüssigem Stickstoff mit -196 °C bis zu 100 °C und mehr). Darüber hinaus können die Kontaktflächen zuverlässig vor vielfältigen Medieneinflüssen geschützt werden.

Neben der Auswahl eines geeigneten Klebstoffsystems sind die Oberflächenbeschaffenheit sowie Höhe der aufgebrachtten Druckbeanspruchung entscheidende Einflussfaktoren zur Erzielung niedriger Verbindungswiderstände. Abbildung 4 verdeutlicht diesen Zusammenhang für Anodenfolien aus Kupfer, welche sowohl mit als auch ohne entsprechende Oberflächenmodifikation geklebt wurden.



Für eine vergleichbare Darstellung unterschiedlicher Werkstoffe und Leiterquerschnitte sowie zur Bewertung der Verbindungsqualität wird der Gütefaktor k_u herangezogen. Dieser ergibt sich aus dem Verhältnis des Verbindungswiderstandes R_v über der Verbindungslänge l_v zum Widerstand des homogenen Leiterstücks R_l mit gleicher Geometrie und Länge l_l . Die Verlustleistung und somit Erwärmung an der Verbindungsstelle während der Stromführung entspricht bei einem Gütefaktor $k_u = 1$ der des homogenen Leiterabschnitts.

Die Ergebnisse zeigen, dass oberhalb einer spezifischen Fügekraft elektrisch leitfähige Klebverbindungen mit Gütefaktoren $k_u \leq 1$ erreicht werden. Durch Einsatz oberflächenmodifizierter Anodenfolien lässt sich sowohl die Verbindungsqualität weiter verbessern, als auch das Prozessfenster hin zu niedrigeren Fügekräften verschieben.

Die Arbeiten werden im Verbundprojekt BamoSa (FKZ: 03X4637A) durch das BMBF gefördert. Das Fraunhofer IWS dankt dem Lehrstuhl für Hochspannungs- und Hochstromtechnik der Technischen Universität Dresden für die Unterstützung.

- 1 *Vorrichtung zur Bestimmung von Verbindungswiderständen*
- 2/3 *REM-Aufnahme der Oberflächenstruktur einer unmodifizierten (links) und einer modifizierten Kupferfolie (rechts)*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Maurice Langer
 Telefon: +49 351 83391-3852
maurice.langer@iws.fraunhofer.de





1

ELEKTROMAGNETISCHES PULSFÜGEN – EIN NEUES FÜGEVERFAHREN MIT POTENZIAL

DIE AUFGABE

Für das stoffschlüssige Verbinden von Metallen rücken Hochgeschwindigkeitsverfahren immer mehr in den Fokus der industriellen Anwendung. Mit ihrer geringen thermischen Belastung der Werkstoffe bieten sie vor allem Vorteile beim Fügen von Mischverbindungen.

Beim Magnetpulsschweißen wird das Bauteil einem stark transienten Magnetfeld ausgesetzt, wodurch große Lorentzkräfte auf den Fügebereich einwirken. Das Verfahren weist gegenüber dem weitverbreiteten Explosivschweißen viele Vorteile auf. Sie äußern sich vor allem in der sichereren Handhabung, dem berührungslosen Verformen, der größeren möglichen Bauteilvariabilität und der einfacheren Vor- und Nachbereitung. Kollisionsdrücke von mehr als tausend MPa und der beim Fügen auftretende sogenannte Jet-Strom, der die Oberflächen von Oxiden und Verunreinigungen befreit, ermöglichen das Herstellen metallischer Mischverbindungen. Aufschmelzungen und die Bildung von spröden, intermetallischen Phasen lassen sich deutlich reduzieren und dadurch sehr belastbare Verbindungen erzeugen.

Das Aufbringen der erforderlichen Beschleunigungen für Festkörper-Schockschweißverfahren kann auf verschiedene Weise erfolgen. Verfahrensbedingt erschweren die sich ständig ändernden Kollisionsbedingungen jedoch die Erzeugung homogener Verbindungsbereiche. Diese sind für die Qualität und damit die Auslegung der Fügezone unerlässlich. Es besteht daher die Aufgabe, die optimalen Schweißparameter in Abhängigkeit von den beteiligten Materialien und Ausgangsgeometrien zu finden.

UNSERE LÖSUNG

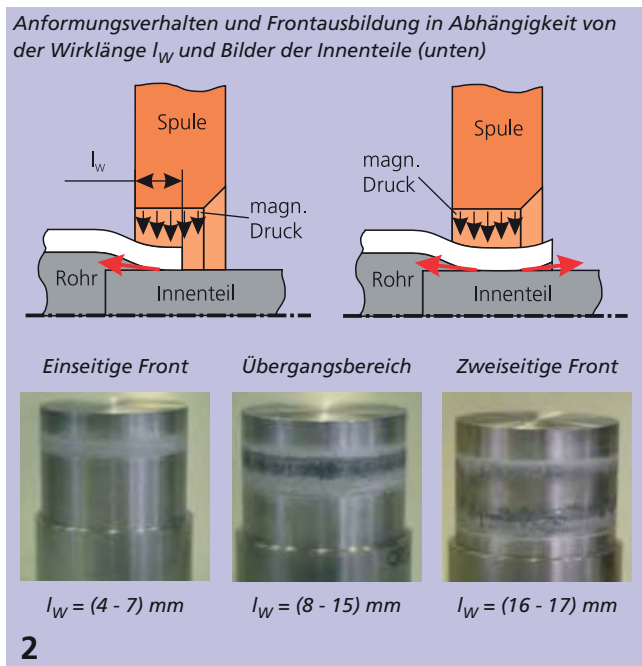
Für die Prozessuntersuchungen zum Magnetpulsfügen stehen am Fraunhofer IWS Dresden drei verschiedene Anlagen zur Verfügung. Dadurch ergibt sich ein breites Spektrum an Eingangsgrößen, was sowohl die Durchführung von Parameterstudien als auch die Auswahl der geeignetsten Maschine für eine konkrete Fügeaufgabe ermöglicht. Die maximalen Ladeenergien der Pulsgeneratoren betragen 32 kJ, 40 kJ und 160 kJ, die entsprechenden Entladefrequenzen liegen bei 25 kHz, 12 kHz und 20 kHz.

Der elektrische Strom, der in Sekundenbruchteilen fließen kann, ruft ein stark veränderliches Magnetfeld im Spuleninneren hervor. Genau dort ist das zu verformende und elektrisch leitfähige Rohr platziert. Entsprechend der Lenz'schen Regel wird in diesem ein Strom induziert, der seinerseits ein Magnetfeld erzeugt. Durch die entgegengesetzte Ausrichtung zum magnetischen Fluss der Spule kommt es zu einer mechanischen Kraftwirkung, der Lorentzkraft. Diese ist nach dem Wechselwirkungsprinzip sowohl auf die möglichst steifen Spulenwindungen nach außen gerichtet, als auch auf das Bauteil nach innen.

Die Verformungsgeschwindigkeiten können bis zu einigen hundert Metern pro Sekunde erreichen. Damit steht genügend kinetische Energie zur Verfügung, um bei einer Kollision des beschleunigten Rohres mit einem innenliegenden Teil einen Stoffschluss zu erzeugen. Als eine wesentliche Einflussgröße gilt dabei die Position des Rohres, die im Rahmen eines von der DFG-geförderten Projektes (SPP 1640) untersucht wurde. Die variierte Wirklänge l_w bezeichnet die axiale Position des Rohres zum Spulenrand.

ERGEBNISSE

Durch die Vernetzung der Erkenntnisse von numerischen Magnetfeldsimulationen, Geschwindigkeitsmessungen und metallographischen Untersuchungen der Verbindungszone sind verschiedene Zusammenhänge erkennbar. So kommt neben dem Energieeintrag, der je nach Materialsteifigkeit angepasst werden muss, der Wirklänge l_w eine entscheidende Bedeutung zu. Bei einer Variation von 4 bis 17 mm zeigen sich deutliche Unterschiede im Anformungsverhalten des Rohres.



Die Erhöhung der Wirklänge ruft demnach einen Übergang vom einseitigen zum zweiseitigen Frontverlauf hervor (Abb. 2). Die roten Pfeile stellen jeweils den beschriebenen Jet dar. Im Übergangsbereich (Abb. 2 Mitte) tritt dieser nicht auf, da die

Materialien flach aufeinander prallen und sich die Kollisionsfront nicht wie in den beiden anderen Varianten zu den Seiten hin bewegt. Infolgedessen wird die Ausbildung einer stoffschlüssigen Verbindung verhindert.

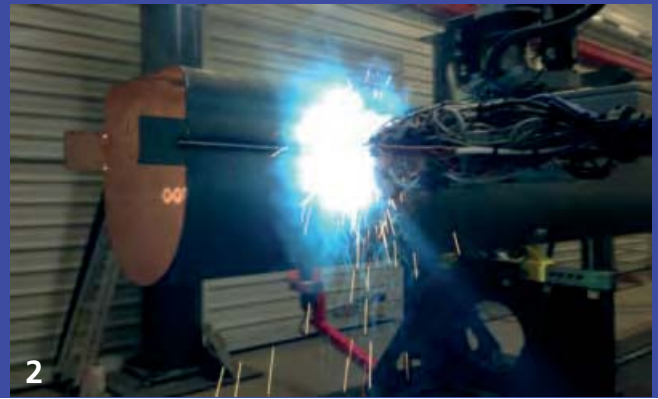
Die gegenläufigen Abrollrichtungen bei der zweiseitigen Frontausbreitung können sich als vorteilhaft erweisen, da sie die Gefahr des Abscherens beim Umformen verringern. Das Verändern der Wirklänge kann demnach dazu genutzt werden, die Verbindungseigenschaften je nach Materialkombination und gewünschter Verbindungslänge gezielt einzustellen. So wurden beispielsweise Verbindungen für industrielle Anwendungen mit hohen Anforderungen an Dichtheit und elektrische Leitfähigkeit realisiert.

- 1 *Elektromagnetisch pulsgefügte Mischverbindung (unten) aus abgesetztem Stahlrohr (rechts) und Aluminiumrohr (links)*

KONTAKT

M.Sc. Amanda Leigh Lorenz
 Telefon: +49 351 83391-3716
 amanda.leigh.lorenz@iws.fraunhofer.de





LASER-MSG-HYBRIDSCHWEISSEN VON MOBILKRANAUSLEGERN

DIE AUFGABE

Mobilkräne auf der Basis von ineinanderlaufenden Teleskop-Profilen können heute bis zu Kranhakenhöhen von 100 m, mit Wippspitze sogar bis 195 m ausgefahren werden und dabei Lasten von über 1200 t tragen (siehe Abb. 3). Um mit diesen Kränen auf dem bestehenden Straßennetz fahren zu können, sind ausgereifte Leichtbaukonzepte notwendig. Basis dafür sind höchstfeste Feinkornbaustähle, aber auch niedrige Fertigungstoleranzen und eine größtmögliche Ebenheit der geschweißten Bauteile.

Kernstück der Teleskopkräne sind die ineinanderlaufenden Teleskop-Profile. Sie bestehen aus zwei jeweils bis zu 16 m langen, gekanteten, lasergeschnittenen Halbschalen im Blechdickenbereich von 3 bis 12 mm, die mit zwei Längsnähten miteinander verschweißt werden. Bisher wird diese Schweißaufgabe in einem zweilagigen Schweißverfahren ausgeführt. Die Wurzellage erfolgt mit einem MSG-Schweißverfahren, die Decklage mit dem UP-Schweißverfahren auf zwei getrennten Schweißanlagen mit Schweißgeschwindigkeiten kleiner 0,5 m/min. Diese Randbedingungen führen bei den langen, dünnwandigen Kransegmenten zu starkem Verzug und hohen Richtzeiten.

Im Auftrag eines Industriepartners entwickelte das Fraunhofer IWS Dresden ein Verfahren, mit dem Verzug und Richtzeit ohne Einbußen der geforderten technologischen Eigenschaften minimiert werden können. Dabei war sicherzustellen, dass die bis zu sieben Profile eines Auslegers ohne aufwändige Umbauarbeiten und kostspielige Spannentechnik in der Stückzahl eins gefertigt werden können.

UNSERE LÖSUNG

Zur Anwendung kommt das voll automatisierte einlagige Laser-MSG-Hybridschweißen. Es kombiniert die hohen Schweißgeschwindigkeiten und Einschweiß-tiefen des Laserstrahlschweißens mit der prozesssicheren Zufuhr von schmelzflüssigem Zusatzmaterial.

Mit der am IWS Dresden (Außenstelle Dortmund) entwickelten Technologie können stahlbautypische Fügesepte im Bereich von 0 mm (Heftstellen) bis 1 mm ebenso verschweißt werden wie unterschiedlich dicke Bleche im Stumpfstoß oder als Kehlnaht. Anders als im Schiffbau sind die Blechkanten dabei nicht gefräst sondern lasergeschnitten.

Mit der 12 kW Laserleistung eines Festkörperlasers werden die Bleche aus Feinkornbaustahl mit einer Dicke von 3 - 15 mm (Fügespalt 0 - 1 mm) mit Schweißgeschwindigkeiten von 1 - 6 m/min in PC-Position, ohne Badabstützung, einlagig geschweißt. Gleichzeitig wird die Energieeinbringung des MSG-Prozesses in das Bauteil mittels modifizierter Impulslichtbogentechnik minimiert.

Natürlich können auch Blechdicken unter 3 mm, Aluminium- und Edelstahlbleche oder auch einseitige zugängliche Kehlnähte verschweißt werden.

Setzt man vor dem Laser-MSG-Hybridschweißen ein autogenes Laserschweißverfahren ein, so kann die Lasernaht vollständig durch die Laserhybridnaht überschweißt werden. Dies ermöglicht ein vorgeschaltetes Laser-Hand-Heftschweißen (Abb. 1).



ERGEBNISSE

Basierend auf der am IWS durchgeführten Prozessentwicklung konnte beim Industriepartner eine komplette Fertigungsanlage zum Hybridschweißen von Mobilkranauslegerprofilen aufgebaut werden. Mit Hilfe von drei Laserheftkabinen vor der Laser-MSG-Hybridschweißanlage kann auf teure Spanntechnik verzichtet werden.

Mit der Anlage kann ein kompletter Profilsatz aus bis zu sieben unterschiedlichen Mobilkranprofilen in einem Fertigungslos ohne Umrüstung der Anlagentechnik gefertigt werden. Die bis zu 16 m langen gekanteten Ober- und Unterschalen der Profile werden lokal auf Fügespalte kleiner 0,3 mm zusammengedrückt und mit einem handgeführten Heftkopf und einem 4 kW Faserlaser geheftet.

Querschliff und Festigkeitswerte einer MSG/UP-Schweißnaht (links) im Vergleich zu einer Laserhybrid-Schweißverbindung rechts (SZW Union NiMoCr)



	MSG / UP	Hybrid
Re _H [N/mm ²]	950 - 971	1247 - 1255
Rm [N/mm ²]	983 - 998	1268 - 1262
A [%]	24/10 - 23/11	7/11 - 7/10

4

Mittels Kran und beidseitiger Schienensysteme werden die fertig gehefteten, mit Ein- und Auslaufblechen versehenen Profile in die Hybridschweißanlage eingefahren. Die mit einem 12 kW Faserlaser ausgerüstete Laser-MSG-Hybridschweißanlage wurde als Großportalanlage mit einem Arbeitsbereich von 19,5 m x 3,5 m x 2,5 m speziell für diese Anwendung von einem Industriepartner neu entwickelt. Der an der Anlage eingesetzte Laserhybridschweißkopf wird mittels Nahtverfolgungssensorik automatisch positioniert. Die Laser-MSG-Hybridschweißung erfolgt ebenfalls mittels Nahtverfolgungssensorik voll automatisiert (Abb. 2).

Über eine Serie von über 1000 Profilen konnte gezeigt werden, dass alle Anforderungen im Hinblick auf Verzug und Schweißnahtgüte (Abb. 4) deutlich übertroffen werden.

- 1 Heftnahtschweißen der Segmente eines Mobilkran
- 2 Hybridschweißprozess
- 3 Moderner Mobilkran mit Teleskopprofilausleger

KONTAKT

Dr. Axel Zwick
 Telefon: +49 231 844-3512
 axel.zwick@iws.fraunhofer.de





LASER-MEHLAGEN-ENGSTSPALTSCHWEISSEN VON ALUMINIUM BIS 50 MM WANDSTÄRKE

DIE AUFGABE

Aluminium, dem wirtschaftlich wichtigsten Leichtmetall, eröffnet sich mit seiner sehr hohen spezifischen Festigkeit, der guten Korrosionsbeständigkeit und den sehr guten Möglichkeiten zur Endformgebung ein breites, ständig steigendes Anwendungsspektrum für hoch belastete Leichtbaukonstruktionen. Trotz der vielseitigen Verfügbarkeit als Strangpressprofil oder gegossenes Halbzeug nimmt der Anteil der Anwendungen zu, die schweißtechnisch gefügt werden müssen.

Durch die Verfügbarkeit von Multikilowatt-Lasern konnten die bislang existierenden Prozessgrenzen beim Laserstrahlschweißen von Aluminiumblech mit einer Dicke größer 10 mm erweitert, aber noch nicht beseitigt werden. Die hohe Wärmeleitfähigkeit, große Wärmekapazität und der hohe thermische Ausdehnungskoeffizient stellen große Anforderungen an den Prozess. Speziell bei tiefen Schweißnähten tritt zusätzlich die unzureichende Aufmischung von Schweißzusatzwerkstoff im Nahtwurzelbereich in den Vordergrund. Sie führt vor allem bei aushärtbaren Aluminium-Legierungen (z. B. 6082) zu einer steigenden Heißrissgefahr.

Das Fraunhofer IWS Dresden hat sich deshalb als Aufgabe gestellt, einen industriell umsetzbaren Lösungsweg zu entwickeln, der die genannten Probleme überwindet und sich damit als neuer Ansatz für das Laserstrahlschweißen größerer Wandstärken anbietet.

UNSERE LÖSUNG

Durch eine neue Schweißtechnologie, das Laser-Mehrlagen-Engstspaltschweißen (MES), wird erstmalig die Möglichkeit geschaffen, mit preiswerten Laserquellen tiefe Schweißverbindungen mit homogener Einmischung der Legierungselemente zu erzeugen.

Dazu werden Festkörperlaser mit brillanter Strahlqualität eingesetzt. Der sehr gut fokussierbare Strahl kann in eine Engspaltfuge mit sehr großem Aspektverhältnis und einer durchschnittlichen Fugenbreite von 2 bis 3 mm vollständig bis zum Fugengrund eingeleitet werden. In einem Mehrlagenschweißverfahren wird mit geringer Laserleistung eine tiefe Schweißverbindung von bis zu 50 mm erzeugt.

Die homogene Einmischung der Legierungselemente wird durch die Kombination mit einer Strahloszillation erreicht. Die Strahloszillation erlaubt ein gezieltes Querverpendeln des Strahls mit hoher Scanfrequenz innerhalb der Fuge.

Mit der neuen Lösung können die drei wesentlichen Anwendungsgrenzen für das Dickblechschweißen von ausscheidungshärtbaren Aluminiumlegierungen wie:

- fehlende technische Lösungsmöglichkeit,
 - nicht ausreichende Prozesssicherheit durch Heißrissbildung,
 - hohe Investitionskosten
- überwunden werden.

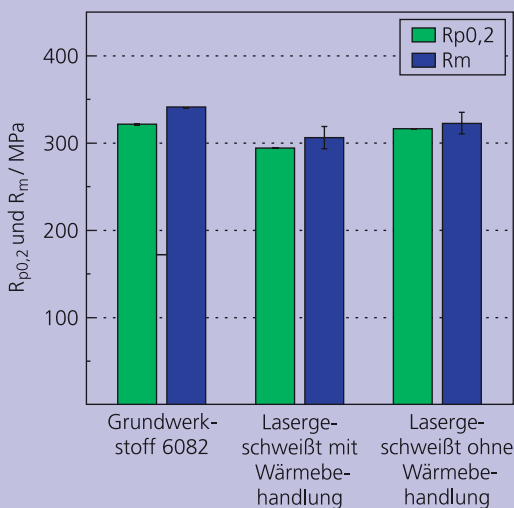


ERGEBNISSE

Mit dem entwickelten MES-Verfahren zum heißbrissfreien und verzugsarmen Fügen konnten AlMgSi-Legierungen bis zu einer Dicke von 50 mm mit sehr hoher Schweißnahtqualität bindefehler- und rissfrei sowie reproduzierbar geschweißt werden. Dabei gewährleistet das MES-Verfahren eine gleichmäßige Aufschmelzung der Bauteilflanken, ein sehr hohes Aspektverhältnis und eine homogene Durchmischung der Schmelze mit dem Schweißzusatzwerkstoff AlSi12. Über den Schweißnahtquerschnitt der heißbrissgefährdeten Legierung beträgt der Si-Gehalt im Mittelwert 7,5 Prozent. In der Schweißnahtwurzel wird mit dem MES-Verfahren ein ausreichender Si-Gehalt von ca. 3 Prozent erreicht.

Für Blechdicken bis 50 mm werden bei dem gewählten Verfahrensansatz nur 2 bis 4 kW Laserleistung benötigt.

Vergleich der Festigkeitskennwerte von MES-geschweißten Zugproben aus ausscheidungshärtbarem Aluminium 6082



4

Dadurch ist die Wärmeeinbringung in das Bauteil sehr gering, der Bauteilverzug wird erheblich reduziert.

Besonders vorteilhaft ist, dass der Verzug mit steigender Blechdicke nicht zunimmt. Im untersuchten Fall konnte sogar gezeigt werden, dass der Verzug geringer wird (Abb. 3). Die Porenhäufigkeit entspricht in Anlehnung an DIN 13919-2 der Bewertungsklasse B. Die Schweißnaht genügt damit der höchsten Bewertungsgruppe. Weiterhin können Risse im Schweißgut ausgeschlossen werden.

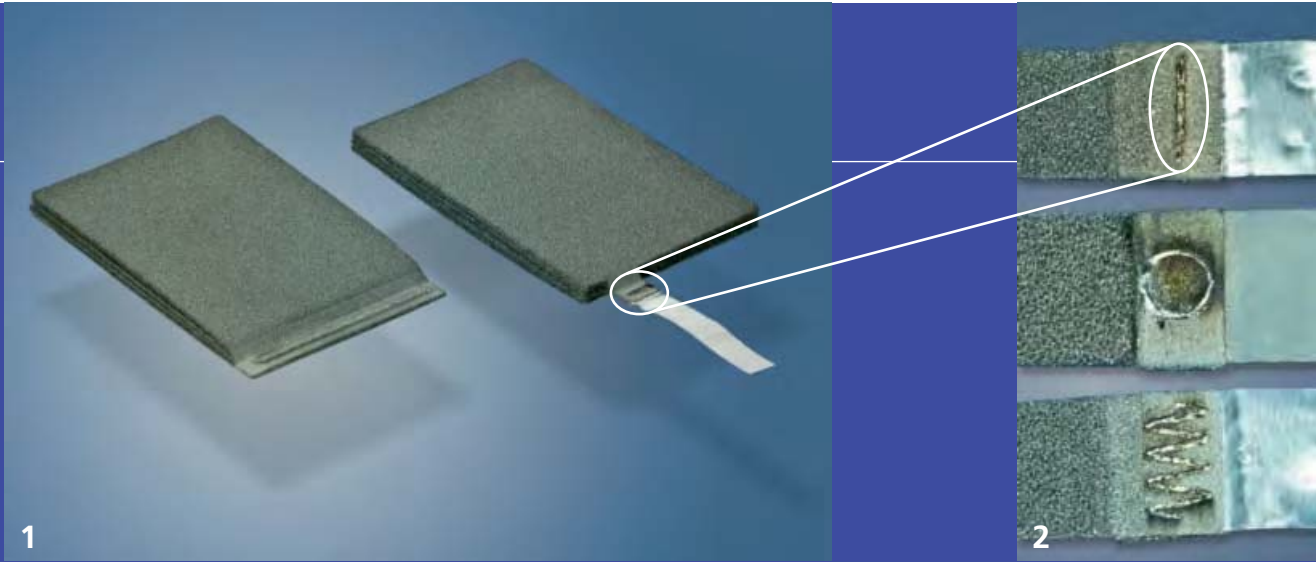
Die sehr gute Schweißnahtqualität spiegelt sich in sehr hohen Zugfestigkeitswerten wider (Abb. 4). Sie liegen für geschliffene Proben im geschweißten Zustand bei knapp 90 Prozent der Kennwerte des Grundwerkstoffs. Durch eine nachträgliche Wärmebehandlung der Schweißverbindung lassen sich die Festigkeitskennwerte auf über 94 Prozent des Grundwerkstoffniveaus anheben.

- 1 MES-Laserschweißkopf (CAD-Darstellung)
- 2 Prototyp MES-Schweißkopf
- 3 Querschliffe von Schweißnähten
 - a) MIG-geschweißt
 - b) Laser-MES

KONTAKT

Dr. Dirk Dittrich
 Telefon: +49 351 83391-3228
 dirk.dittrich@iws.fraunhofer.de





FÜGEN VON METALLSCHÄUMEN FÜR ENERGIESPEICHER

DIE AUFGABE

Die Nachfrage an Speichern für elektrische Energie steigt mit der zunehmenden Elektrifizierung im privaten und öffentlichen Straßenverkehr sowie mit der fortlaufenden Energiewende in Deutschland stetig an. Um sowohl im mobilen als auch im stationären Sektor die Performance von elektrischen Speichern zu verbessern, arbeitet das Fraunhofer IWS Dresden unter anderem an neuartigen elektrochemischen, werkstofftechnischen und fertigungstechnischen Konzepten für Batteriezellen.

Der Einsatz von metallischen Schäumen als Elektrodenmaterialien bietet den Vorteil einer sehr hohen aktiven Oberfläche bezogen auf Materialvolumen und -gewicht. Die Kontaktierung dieser offenporigen zellularen Werkstoffe mit den Ableitern der Batterie stellt aufgrund von Porositäten größer 90 Prozent jedoch eine Herausforderung dar. Neben den erforderlichen mechanischen Festigkeiten sind bei Verbindungen im Inneren von Batterien sowohl der elektrische Widerstand als auch die chemische Beständigkeit von hoher Bedeutung. Zusätzlich ist bei der Verarbeitung der mit Aktivmaterial beladenen Schaumstrukturen eine Handhabung unter Schutzgasatmosphäre notwendig.

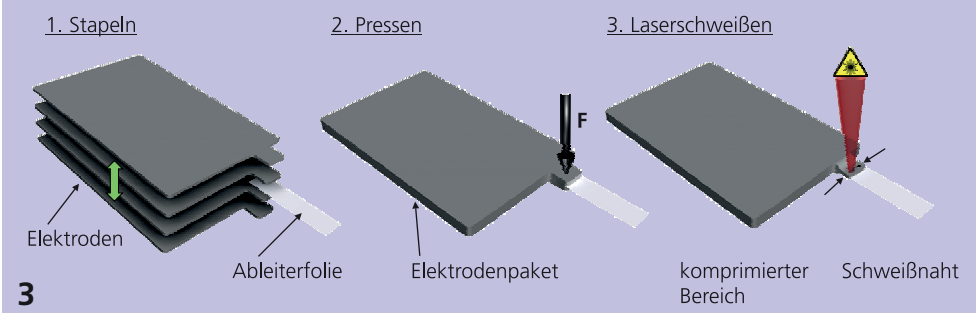
UNSERE LÖSUNG

Im Rahmen der geförderten Projekte »BamoSa« (BMBF, FKZ: 0344637A) und »BaSta« (BMW, FKZ: 0325563A) werden chemische, materialwissenschaftliche und prozesstechnologische Kompetenzen in der Batterieforschung gebündelt und ausgeweitet.

Um die als 3D-Stromkollektor untersuchten Metallschäume unter Schutzatmosphäre mit möglichst geringem Übergangswiderstand elektrisch anbinden zu können, ist eine Füge-technologie erforderlich, die eine stoffschlüssige Verbindung herstellt und zugleich einen geringen thermischen Einfluss auf die Elektroden ausübt. Das Laserstrahlschweißen stellt aufgrund geringer Spotdurchmesser und geringer Streckenenergien die Technologie der Wahl dar.

Zur Anbindung der Ableiter aus Nickel, Kupfer oder Aluminium werden diese in Abhängigkeit ihrer Materialstärke (10 - 100 µm) im Verbund mit dem Metallschaum aus Nickel, Nickelbasislegierungen, Kupfer oder Edelstahl nach dem Stapeln zunächst verpresst. Durch diesen Prozessschritt entsteht zwischen den Fügepartnern eine kraftschlüssige Verbindung und die Porosität des Schaumwerkstoffes wird stark reduziert.

Schematische Darstellung des kombinierten Fügeprozesses aus Pressen und Laserstrahlschweißen





4

Um zusätzlich zum Kraftschluss einen Formschluss zwischen Metallschaum und Ableiter zu erzeugen, werden vor allem bei Ableiterfolien mit Dicken größer 50 µm vorgelochte Ableiterfolien eingesetzt, in welche der Schaumwerkstoff hineingepresst wird.

Durch Laserstrahlschweißen mit Faserlaser ohne Zusatzwerkstoff entsteht letztlich eine stoffschlüssige Verbindung des Pressverbundes. Dazu wird der Laserstrahl über ein Schutzglas in die Handschuhbox mit den zu fügenden Elektroden eingekoppelt. Mittels hochdynamischer Scanner kann der Laserstrahl abgelenkt und die Schweißnahtform flexibel an die Geometrie der Batterieelektrode und die spezifischen Verbindungsanforderungen angepasst werden (Abb. 2).

ERGEBNISSE

Eine Vielzahl von Verbindungen unterschiedlicher Werkstoffkombinationen wurde bisher hergestellt und untersucht. So garantieren zellulare Werkstoffe mit einer geringen Porengröße erwartungsgemäß einen stabileren Schweißprozess und in der Folge eine geringere Porosität in der Schweißnaht. Dies ist auf eine stärkere Materialanhäufung beim Pressen feinporiger Werkstoffe zurückzuführen.

Die Schweißbarkeit verschiedener Materialkombinationen ist vom metallurgischen Verhalten der Metallschmelzen sowie den Bedingungen zur Einkopplung der Laserstrahlung in den zellularen Werkstoff abhängig (siehe Abb. 5). Die mechanische Charakterisierung anhand von Zugversuchen belegt die

hervorragende Festigkeit der Schweißverbindungen. Alle hergestellten Proben versagten in einem der Grundwerkstoffe.

Die elektrische Leitfähigkeit der Verbindungen wird mittels Vierleitermessung bewertet. Die Übergangswiderstände der Verbindungen liegen dabei stets unterhalb der Widerstände der verwendeten Metallschäume.

Durch die Anpassung der Ableiter und den zweistufigen Fügeprozess aus Pressen und Laserstrahlschweißen ist das stoffschlüssige Verbinden von offenen zellularen Werkstoffen untereinander und mit Folien praxisgerecht umsetzbar. Die Verbindungen weisen dabei in der Regel bessere mechanische und elektrische Eigenschaften als die Schaum-Grundwerkstoffe auf.

- 1 Batterieelektroden mit angeschweißtem Aluminiumableiter
- 2 Unterschiedliche Nahtgeometrien
- 4 Querschliff einer Fügeverbindung mit 4 Lagen Metallschaum aus Edelstahl (1.4404) und Ableiterfolie

Schweißbarkeit unterschiedlicher Werkstoffkombinationen

Schaumwerkstoff	Ableiterwerkstoff		
	Nickel	Kupfer	Aluminium
Nickel	sehr gut	gut	eingeschränkt
Nickelbasis	sehr gut	gut	eingeschränkt
Kupfer	eingeschränkt	eingeschränkt	stark eingeschr.
Edelstahl	gut	mittel	mittel

5

KONTAKT

M.Sc. Thomas Feustel
 Telefon: +49 351 83391-3665
 thomas.feustel@iws.fraunhofer.de



**ABTEILUNGSLEITER
PROF. DR. CHRISTOPH LEYENS**



»Ideen halten sich nicht. Es muss etwas mit ihnen getan werden«
Alfred North Whitehead



GESCHÄFTSFELD THERMISCHES BESCHICHTEN UND GENERIEREN

Redaktion: Herr Prof. Leyens, beim Thermischen Spritzen mit Suspensionen spielt das IWS international eine Vorreiterrolle. Was sind dabei die Erfolgsfaktoren?

Prof. Leyens: Die Verwendung von Suspensionen anstelle von Pulvern bringt eine Reihe von technologischen Vorteilen mit sich. Durch die feinen Partikel beim Spritzen mit Suspensionen können wir neuartige Schichten herstellen, die den herkömmlichen in vielerlei Hinsicht überlegen sind. Dünne und dicke Schichten sind mit diesem neuen Verfahren genauso herstellbar wie poröse und dichte Schichten. Außerdem erhalten wir bei bestimmten Werkstoffen eine für die Anwendung wichtige Phasenzusammensetzung, die wir mit konventionellen Spritzverfahren nicht einstellen können. In den letzten Jahren haben wir ein umfassendes Verständnis der Wirkmechanismen zwischen Spritzprozess, Werkstoffgefüge und Schichteigenschaften entwickelt, das uns die Entwicklung maßgeschneiderter Beschichtungslösungen möglich macht. Unsere Kunden wissen das sehr zu schätzen.

Redaktion: Welchen Anteil am Erfolg haben die Systemtechnikentwicklungen der letzten Jahre?

Prof. Leyens: Beim Spritzen mit Suspensionen spielt die gleichmäßige Zufuhr der Suspension eine große Rolle für die Prozessstabilität. Wir haben deshalb einen Suspensionsförderer entwickelt, der aufgrund seiner drei Behälter einen produktionsstauglichen, kontinuierlichen Spritzprozess erlaubt. Die Behälter können aber auch mit unterschiedlichen Suspensionen gefüllt werden, so dass neue Materialkombinationen oder gradierte Schichtsysteme entwickelt werden können. Mit den von uns entwickelten Düsensystemen für das Einspritzen der Suspension lassen sich konventionelle Spritzsysteme für das Spritzen mit Suspensionen aufrüsten.

Redaktion: Auch beim Auftragschweißen und bei der generativen Fertigung wartet das IWS immer wieder mit innovativer Systemtechnik auf. Wie ist hier der Stand?

Prof. Leyens: Unsere besondere Stärke liegt in der Entwicklung von kundenspezifischen Lösungen, die tiefgründiges werkstoff- und fertigungstechnisches Know-how erfordern. Technisch ausgereifte und ökonomisch sinnvolle Ergebnisse lassen sich am Ende aber meist nur durch entsprechend auf den Prozess und das Produkt angepasste Systemtechnik erzielen. Folgerichtig bietet das IWS eine Familie von robusten Pulverdüsen an, die ein breites Anwendungsspektrum abdecken. Angefangen bei minimalen Strukturbreiten von 30 µm bis hin zu Einzelspuren von über 20 mm nutzen unsere Kunden diese ausgeklügelten Systeme. Das jüngste Mitglied in der Familie ist ein drahtbasierter Koaxialkopf für Laserleistungen bis 4 kW, der eine 100 prozentige Ausnutzung der eingesetzten Werkstoffe bietet und voll 3D-fähig ist.

Redaktion: Welche Fortschritte gibt es auf dem Gebiet der Funktionswerkstoffe, die durch Aerosol- und Dispenserdrucktechniken verarbeitet werden?

Prof. Leyens: Die Direktwandlung von thermischer in elektrische Energie kann durch spezielle Funktionswerkstoffe realisiert werden, die zu thermoelektrischen Generatoren (TEG) kombiniert werden. Wissenschaftlich besteht derzeit die größte Herausforderung in der Evaluation von Materialien, die einerseits hohe Wandlungswirkungsgrade ermöglichen, gleichzeitig aber auch kostengünstig und umweltverträglich zu verarbeiten sind. Daran arbeiten wir mit Partnern aus Wirtschaft und Forschung. Auf der Verarbeitungsseite konnten wir jüngst die Herstellbarkeit flexibler TEGs demonstrieren, die sich z. B. für die Energieversorgung von Sensoren eignen.



KOMPETENZEN

THERMISCHES SPRITZEN

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.

AUFTRAGSCHWEISSEN

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.

DRUCKTECHNOLOGIEN

Durch Drucken lassen sich 2D- und 3D-Strukturen auf Oberflächen mit hoher Präzision und Reproduzierbarkeit zu vergleichsweise geringen Kosten aufbringen. Das präzise und flexible Aufbringen von Multimaterialsystemen und das additiv-generative Erzeugen von Mikrokomponenten ermöglichen Produkte mit radikal neuen Funktionalitäten und Eigenschaftsprofilen. Die innovativen Fertigungstechnologien erlauben z. B. die Integration von gedruckter Elektronik wie Sensoren, thermoelektrischen Generatoren oder Energiespeichern in die Komponenten.

ADDITIV-GENERATIVE FERTIGUNG

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.



GRUPPENLEITERIN
THERMISCHES SPRITZEN
DR. FILOFTEIA-LAURA TOMA

Telefon +49 351 83391-3191
filofteia-laura.toma@iws.fraunhofer.de



ABTEILUNGSLEITER

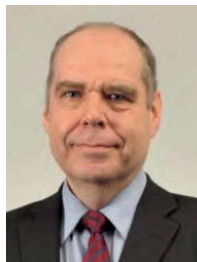
PROF. CHRISTOPH LEYENS

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



GRUPPENLEITER
AUFTRAGSCHWEISSEN

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



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2014

GRUPPENLEITERIN
DRUCKTECHNOLOGIEN

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



GRUPPENLEITER
ADDITIV-GENERATIVE FERTIGUNG
DR. FRANK BRÜCKNER

Telefon +49 351 83391-3452
frank.brueckner@iws.fraunhofer.de



- | | |
|---|----|
| 1. Laserbasierte Herstellung von Metall-Faserverbund-Verbindungen | 46 |
| 2. Laser-Draht-Auftragschweißen mit Koaxial-Bearbeitungsoptik | 48 |
| 3. Suspensionsspritzen - Komponenten für den industriellen Einsatz | 50 |
| 4. Strom von der Rolle - Materialien für flexible thermoelektrische Generatoren | 52 |
| 5. Additive Fertigung von thermisch hoch belasteten Bauteilen | 54 |



LASERBASIERTE HERSTELLUNG VON METALL-FASERVERBUND-VERBINDUNGEN

DIE AUFGABE

Um der Forderung nach energieeffizienter sowie nachhaltiger Mobilität gerecht zu werden, integrieren Unternehmen der Automobil- und Luftfahrtbranche verstärkt Leichtbauwerkstoffe in ihre Produkte. So werden leichte Faserverbundwerkstoffe u. a. in Karosserie-, Gehäuse- oder Antriebskomponenten eingesetzt. Deren Einbindung in das Gesamtkonzept ist wegen stark abweichender Eigenschaften im Vergleich zu den überwiegend metallischen Werkstoffen aber sehr schwierig. Bisher kommen Verfahren wie das Kleben, das Laminieren von Metallelementen oder das nachträgliche Einbringen von Verbindungselementen (z. B. Nieten) zum Einsatz. Diese verfügen häufig nur über lokale oberflächliche Verbindungen und eine vergleichsweise geringe Belastbarkeit.

Nachträglich mechanisch eingebrachte Verbindungselemente (z. B. Nieten, Schrauben) schädigen zumeist die Fasern und damit den gesamten Verbund, häufig in Bereichen hoher mechanischer Belastung. Das präzise Einbringen von Verbindungselementen im industriellen Formgebungsprozess ist mit hohem Aufwand verbunden. Zudem muss das Funktionselement (z. B. ein Schließbügel oder ein Scharnier) separat gefertigt werden.

Die Beseitigung dieser Nachteile würde reduzierte Fertigungszeiten der Komponenten sowie einen breiteren und effizienteren Einsatz der Leichtbauwerkstoffe in der Industrie ermöglichen. In bestimmten Fällen würde durch Überwindung der genannten Defizite überhaupt erst eine entsprechende Leichtbaulösung möglich. Daher ist die Steigerung der Effizienz sowohl bei der Herstellung als auch im Einsatz von Leichtbaukomponenten aus Faserverbundwerkstoffen Ziel aktueller Forschungsarbeiten.

UNSERE LÖSUNG

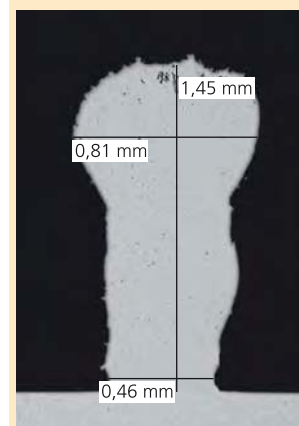
Am Fraunhofer IWS Dresden werden auf metallischen Bauteilen mittels Hochpräzisions-Laser-Pulver-Auftragschweißen spezielle Oberflächenstrukturen erzeugt (Abb. 1). Eine große Anzahl dieser in Abbildung 3 dargestellten Strukturen trägt dazu bei, freiliegende Fasern beim Fügen möglichst zerstörungsfrei zu verdrängen und nach dem anschließenden Laminierprozess sicher zu verankern.

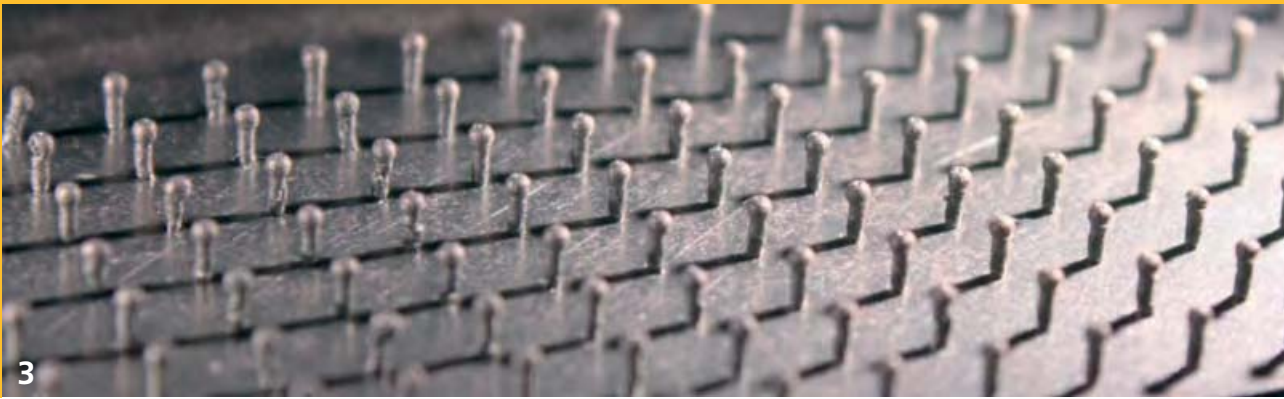
Das Hochpräzisions-Laser-Pulver-Auftragschweißen erlaubt sowohl das Generieren zylindrischer Strukturelemente als auch das Realisieren von geometrischen Hinterschnitten. Letztere nehmen eine bedeutende Rolle bei der formschlüssigen Verklammerung im Faserverbund ein (Abb. 2).

Die prozessimmanente geometrische Flexibilität des Verfahrens gestattet die dreidimensionale Anordnung der einzelnen Strukturelemente auch auf räumlich gekrümmten Verbindungsflächen.

Durch Prozess- und Systemanpassung können die einzelnen Strukturelemente vom Mikrobis in den Millimeterbereich skaliert werden, um unterschiedlichen Ansprüchen bezüglich der Materialstärke, des Fasergehaltes sowie der Faserrichtung gerecht zu werden.

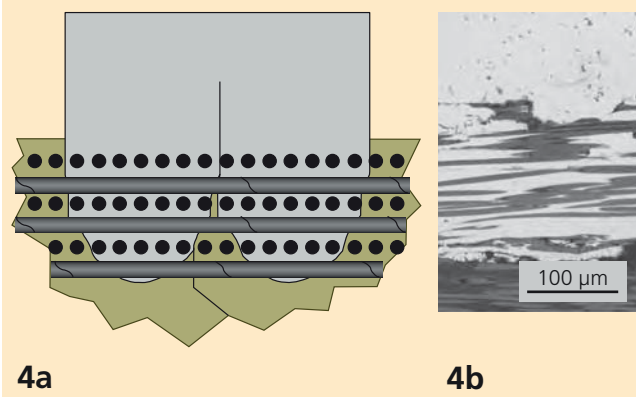
Metallisches Strukturelement





Einen neuartigen Ansatz zur Verbindung faserverstärkter Kunststoffe und Metalle bietet ein laserbasiertes Kombinationsverfahren aus Metall-Infiltration und generativem Strukturaufbau. Demnach wird ein direkter Aufbau von metallischen Funktionselementen auf dem Faserverbundwerkstoff unter gleichzeitiger Herstellung einer hochfesten stoff- und formschlüssigen Verbindung der Strukturkomponenten erzeugt (Abb. 4a).

Mechanismus der stoff- und formschlüssigen Verbindung über mehrere Faserlagen (a) und Querschliff der Metall-CFK-Verbindung (b)



Dabei dringt laserverflüssigtes Metall in freigelegte Faserzwischenräume unter Bildung einer Schweißraupe. Ein nachgelagerter gradierter Materialaufbau gestattet eine Unterscheidung zwischen dem metallischen Zielwerkstoff des aufzubauenden Funktionselementes und dem metallischen Verbindungswerkstoff. Somit lassen sich die Eigenschaften des metallischen Funktionselementes an seine Anwendung anpassen.

ERGEBNISSE

Durch Hochpräzisions-Laser-Pulver-Auftragschweißen können Substrate mit optimal an den Belastungsfall angepassten Strukturelementen versehen werden. Der Querschnitt der Struktur lässt sich hinsichtlich einer leichten Faserverdrängung oder bestmöglichen Verklammerung anpassen. Im Zugversuch mit Polyamidkunststoff als Fügepartner wurde das hervorragende Potenzial derartiger Strukturen bestätigt. Gegenüber einer Klebung konnte eine signifikant höhere Festigkeit erreicht werden.

Die direkte Metallinfiltration wurde durch das direkte Erzeugen von Schweißraupen auf CFK-Substraten nachgewiesen. Der Querschliff der erzeugten Schweißraupe (Abb. 4b) illustriert, dass ein hochfester Verbund zwischen einem faserverstärkten Kunststoff und einem Metall durch Verdrängung der Matrix prinzipiell realisierbar ist. Die thermische Schädigung des Verbundwerkstoffes ist dabei minimal.

- 1 Hochpräzisions-Laser-Pulver-Auftragschweißen während der Erzeugung filigraner Oberflächenstrukturen
- 3 Großflächig aufgebrachte Oberflächenstrukturen

KONTAKT

Dipl.-Ing. Mirko Riede
 Telefon: +49 351 83391-3188
 mirko.riede@iws.fraunhofer.de





LASER-DRAHT-AUFTRAGSCHWEISSEN MIT KOAXIAL-BEARBEITUNGSOPTIK

DIE AUFGABE

Das Beschichten und Funktionalisieren von Oberflächen ist ein anspruchsvolles produktionstechnisches Anwendungsgebiet der modernen Lasertechnik. Als Schichtwerkstoffe stehen die unterschiedlichsten metallischen Materialien in Form von Pulver oder Draht zur Verfügung. In wachsendem Umfang werden Drähte von den Anwendern bevorzugt. So wird unabhängig von der Bauteilgeometrie der Zusatzwerkstoff stets zu 100 Prozent ausgenutzt, die Materialzufuhr ist schwerkraft-unabhängig und der saubere Schweißprozess verursacht in weitaus geringerem Maße Gefährdungen von Bedienpersonal und Anlagentechnik.

Ferner ist bei Drähten das Risiko unerwünschter Reaktionen mit der umgebenden Atmosphäre aufgrund der kleineren spezifischen Oberfläche geringer. Daraus resultieren vorteilhafte Verarbeitungsmöglichkeiten reaktionskritischer Materialien wie Titan oder Aluminium. Fülldrähte erweitern zudem das verfügbare Legierungsspektrum im Bereich hochlegierter und hartstoffhaltiger Materialien.

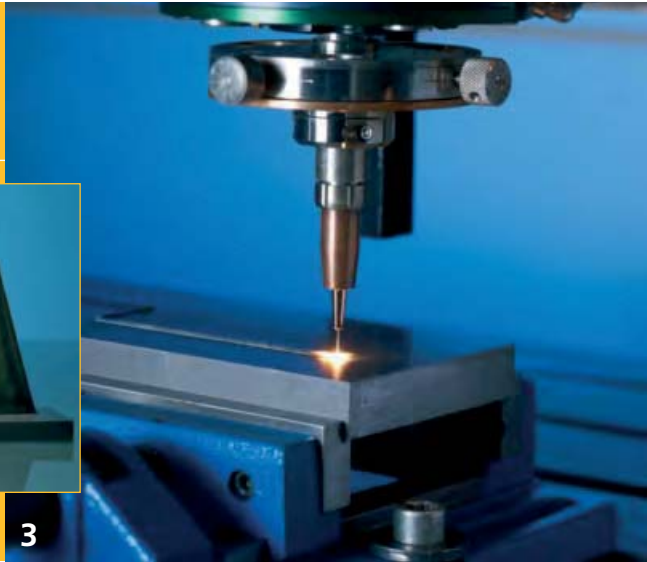
Allein die heute übliche seitliche Drahtzufuhr limitiert die Kontur- und 3D-Tauglichkeit des Verfahrens sowie die Größe des Prozessfensters. Hieraus ergibt sich in der fertigungstechnischen Praxis ein Bedarf an Lösungen zur richtungsunabhängigen Drahtzufuhr unter gleichzeitiger Umsetzung des Potenzials zur Erzeugung von funktionalen Beschichtungen mit besonderer Oberflächengüte und Endkonturnähe.

UNSERE LÖSUNG

Vor diesem Hintergrund bietet die neue Laser-Draht-Koaxialbearbeitungsoptik **COAXwire** (Abb. 1) aus dem Fraunhofer IWS Dresden eine praktikable Lösung für alle Anwendungen, bei denen ein präziser, zwei- und dreidimensionaler Materialauftrag erfolgen soll.

Mit der Optik wird der kollimierte Laserstrahl eines Faser- oder Scheibenlasers von bis zu 4 kW Leistung zunächst symmetrisch in drei Teilstrahlen aufgeteilt und anschließend auf einen kreisförmigen Brennfleck fokussiert (Abb. 4). Bei einem festen Abbildungsverhältnis von 1:3 kann der Fokusbrenndurchmesser über die Wahl des Faserdurchmessers eingestellt werden. Die Anordnung der optischen Elemente ermöglicht die Zufuhr des Schweißdrahtes exakt in der Laserstrahlachse. Resultierend sticht der Draht im Zentrum des laserinduzierten Schmelzbaades ein, wodurch eine völlige Richtungsunabhängigkeit erreicht wird, und zwar in allen technisch sinnvollen Schweißpositionen.

Die Drahtoptik beinhaltet eine Kollisions- und Sicherheitsabschaltung zum Schutz vor Beschädigungen bei Fehlfunktionen oder Prozessunregelmäßigkeiten. Die kompakte Bauweise ermöglicht eine einfache Integration in CNC- oder Roboter-Anlagen und garantiert damit auch die effiziente Bearbeitung von großformatigen und komplexen Bauteilen.

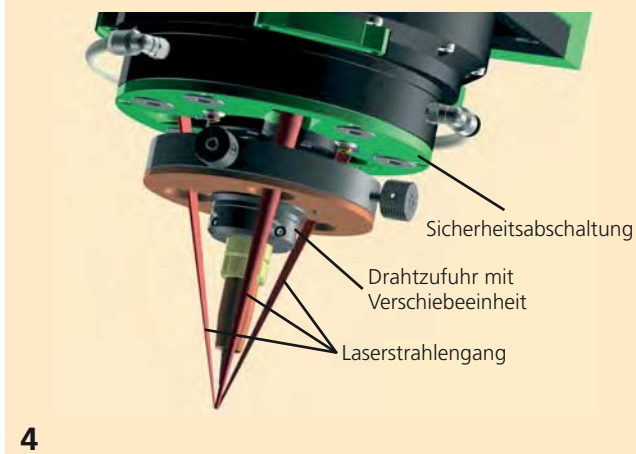


ERGEBNISSE

Abbildung 3 veranschaulicht einen typischen Schweißprozess. Im Unterschied zu lichtbogenbasierten Drahtprozessen ist dieser nicht durch einen Tropfenübergang, sondern durch einen kontinuierlichen Schmelzfluss von der abschmelzenden Drahtspitze in das Schmelzbad gekennzeichnet. Die geometrische Dimension des aufgetragenen Metalls richtet sich nach dem Laser-Brennfleckdurchmesser und den physikalischen Eigenschaften des Materials selbst.

Typischerweise betragen die Raupenbreiten 1 bis 3 mm und die Raupenhöhen 0,3 bis 1 mm. Die Drahtdurchmesser liegen gewöhnlich zwischen 0,8 und 1,2 mm, wobei grundsätzlich auch feinere Drähte bis 300 µm Durchmesser und auch dickere Massiv- und Fülldrähte bis 1,6 mm handhabbar sind. Zur Überwachung und Sicherung des Schweißvorgangs werden ein Drahtlaufsensor, die integrierte automatische Sicherheitsabschaltung sowie optional ein kamerabasiertes Schmelzbadüberwachungssystem eingesetzt.

Schematische Darstellung der koaxialen Draht-Bearbeitungsoptik



Anwendungsseitig kann ein großes Spektrum an handelsüblichen Metalllegierungen zum Beschichten sowie auch zum Erzeugen defektfreier, komplexer 3D-Strukturen verwendet werden (Abb. 2). Repräsentative Beispiele sind der Werkzeugstahl 1.2343, die Nickel-Legierungen Inconel 718 und Inconel 625, die Kobaltbasis-Legierung Stellite 21 oder die Leichtbaulegierungen TiAl6V4 und AlMg5. Je nach Bauteilgeometrie, Werkstoff und Drahtabmessung betragen die Flächengeschwindigkeiten bis zu 0,5 m²/h und die Aufbauraten bis zu 250 cm³/h.

Im Vergleich zum Laser-Pulver-Auftragschweißen werden beim Laser-Draht-Auftragschweißen tendenziell bessere Oberflächenqualitäten erreicht. So beträgt zum Beispiel bei Flächenbeschichtungen aus Inconel 625 die Oberflächenrauheit quer zu den Schweißraupen nur $R_z < 45 \mu\text{m}$. Hieraus ergeben sich geringere Bearbeitungsaufmaße und ein geringerer Nacharbeitsaufwand und damit klare Vorteile für das Laser-Draht-Auftragschweißen.

- 1 Koaxial-Laser-Draht-Bearbeitungsoptik COAXwire
- 2 Generativ erzeugte Bauteile
- 3 Auftragschweißprozess mit koaxialer Drahtoptik

KONTAKT

Dipl.-Ing. Sebastian Thieme
 Telefon: +49 351 83391-3076
 sebastian.thieme@iws.fraunhofer.de





1



2

SUSPENSIONSSPRITZEN – KOMPONENTEN FÜR DEN INDUSTRIELLEN EINSATZ

DIE AUFGABE

Durch Suspensions-spritzten lassen sich qualitativ besonders hochwertige thermisch gespritzte Schichten herstellen. Als Spritzzusatz kommen hier Submikro- oder Nanopulver zum Einsatz, die in einer Flüssigkeit feindispersiert werden. Im Vergleich zu konventionellen Schichten aus Beschichtungspulvern mit Partikelgrößen von 5 bis 50 µm, zeichnen sich suspensionsgespritzte Schichten durch eine geringere Oberflächenrauheit und höhere Homogenität in der Mikrostruktur aus.

Das Spritzen von Suspensionen kann sowohl in herkömmlichen Hochgeschwindigkeitsflammspritz- (HVOF) als auch in atmosphärischen Plasmaspritzanlagen (APS) eingesetzt werden. Dafür sind ein Suspensionsförderer und angepasste Suspensionsinjektoren notwendig, durch die der Spritzzusatz in das Plasma oder die HVOF-Flamme injiziert wird.

Die Hardwarekomponenten für das Suspensions-spritzen standen bisher nur im Labormaßstab zur Verfügung. Für Unternehmen, die suspensionsgespritzte Schichten mit bestehender Spritztechnik herstellen möchten, bietet ein modulares Ausrüstset zum Suspensions-spritzen eine wirtschaftlich attraktive Lösung.

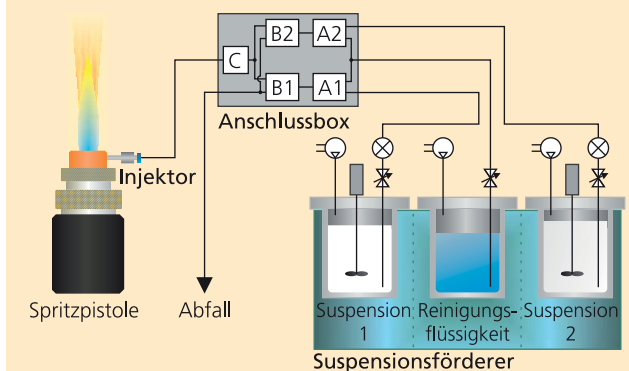
UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer IWS Dresden wurde speziell für den industriellen Einsatz ein modulares Anlagen-Ausrüstset entwickelt. Es besteht aus einem automatisierten Suspensionsförderer mit Touch-Bedienung, einer Anschlussbox und verschiedenen Suspensionsinjektoren für APS- bzw. HVOF-Verfahren (Abb. 3).

Der für den industriellen Einsatz konzipierte Suspensionsförderer besteht aus drei getrennten Druckbehältern (Abb. 1). Zwei Behälter enthalten die gewünschten Suspensionen, der Dritte eine Reinigungsflüssigkeit. Das Förderersystem bietet Vorteile insbesondere für Dauerbeschichtungen ohne Unterbrechung. Während aus einem Behälter dem Prozess Suspension zugeführt wird, kann der zweite Behälter nachgefüllt werden. Ebenso können zum Beschichten zwei unterschiedliche Suspensionen verwendet werden, um Multilagen- oder Kompositschichten herzustellen.

Die Bedienung des Förderers erfolgt über ein Touch-Panel, mit dem Parameter wie Durchflussmenge oder Förderdruck eingestellt und überwacht werden. Die Suspensionsmengen werden automatisch und getrennt voneinander geregelt. Am Ende der Beschichtung oder in Prozesspausen kann ein Reinigungszyklus initiiert werden, um eine Partikelsedimentation im Fördersystem zu verhindern.

Anlagen-Ausrüstset zum Suspensions-spritzen, bestehend aus: Suspensionsförderer, Anschlussbox und Injektor



3

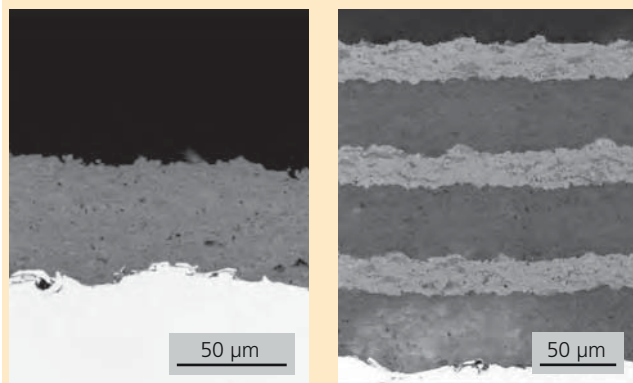


Die Anschlussbox, in der die Ventile angesteuert werden, bildet das Bindeglied zwischen Suspensionsförderer und Injektor. Mit den am Fraunhofer IWS entwickelten Injektoren kann das Suspensions-spritzverfahren an APS-Anlagen (F6 und Delta) sowie an einer TopGun-HVOF-Anlage eingesetzt werden (Abb. 2). Die zum Suspensions-spritzen ausgerüsteten Spritzpistolen lassen sich ohne Aufwand nach dem Austausch der Injektoren wieder zum thermischen Spritzen mit Pulver verwenden.

ERGEBNISSE

Mit dem modularen Anlagen-Ausrüstset zum Suspensions-spritzen können auf Bauteiloberflächen Schichten für verschiedene Anwendungen aufgebracht werden, die durch andere thermische Spritzverfahren nicht realisierbar sind. Ein Beispiel ist die Beschichtung von Zahnimplantaten mit dünnen, glatten, stabilen, biokompatiblen und weißen suspensionsgespritzten Schichten (Abb. 4). Im industriellen Einsatz können höhere Stückzahlen pro Zeiteinheit gefertigt werden, da das Nachfüllen der Suspension mit dem neuen Förderersystem während des laufenden Beschichtungsprozesses erfolgen kann.

Querschliffaufnahme einer Kompositschicht (links) und Multilagerschicht (rechts) aus Al_2O_3 und TiO_2 wässrigen Suspensionen



5

Darüber hinaus lassen sich mit dem Förderersystem sowohl Kompositschichten (Keramik-Keramik, Keramik-Metall) als auch Multilagenschichten direkt herstellen (Abb. 5). Bei der Herstellung von Kompositschichten werden die unterschiedlichen Suspensionen gleichzeitig dem Spritzprozess zugeführt, wodurch eine homogene Verteilung der unterschiedlichen Gefügebestandteile erzielt wird. Im Gegensatz dazu wird beim Spritzen von Multilagenschichten zwischen den verschiedenen Suspensionen halbautomatisch und verzögerungsfrei umgeschaltet. Dadurch können ohne Stillstandszeiten Schichten mit abgegrenzten Gefügebereichen hergestellt werden.

Das Fraunhofer IWS bietet eine umfangreiche Palette von Dienstleistungen für das Spritzen mit Suspensionen an. Dazu gehören neben der Entwicklung von Hardwarekomponenten und Ausrüstsets zum Spritzen mit Suspensionen, das Testen von Suspensionen im Kundenauftrag, die Entwicklung und Charakterisierung von maßgeschneiderten Suspensionen und Beschichtungslösungen sowie die Unterstützung der Anwender bei der Technologieeinführung und Systemintegration.

- 1 3-Druckbehälter-Suspensionsförderer
- 2 Suspensionsinjektoren für APS- (oben) und HVOF-Spritzen (unten)
- 4 Beschichtetes Zahnimplantat mit dünner (20 µm) ZrO_2 -Suspensionsschicht

KONTAKT

Dr. Filofteia-Laura Toma

Telefon: +49 351 83391-3191

filofteia-laura.toma@iws.fraunhofer.de





STROM VON DER ROLLE – MATERIALIEN FÜR FLEXIBLE THERMOELEKTRISCHE GENERATOREN

DIE AUFGABE

Thermoelektrische Generatoren wandeln thermische Energie direkt in elektrische Energie. Die Anwendungsszenarien sind vielfältig, da in nahezu jedem technischen Prozess Abwärme entsteht. Allein Deutschland produziert jährlich eine Abwärmemenge im Bereich einiger Petajoule, die mit Hilfe der Thermoelektrik zumindest teilweise wieder in elektrische Energie gewandelt und genutzt werden könnte.

Die Umwandlung thermischer in elektrische Energie beruht auf dem Seebeck-Effekt. Dieser erzeugt bei einem vorhandenen Temperaturgradienten innerhalb eines leitfähigen Materials eine Ladungsträgerdiffusion. Diese resultiert in einer Potenzialdifferenz, die Seebeck-Spannung genannt wird und typischerweise im Bereich einiger μV bis mV liegt. Der Seebeck-Koeffizient gibt die erzeugte Thermospannung pro Kelvin Temperaturdifferenz an.

Die Anwendung thermoelektrischer Elemente im Markt wird derzeit durch verschiedene Kriterien gehemmt. Neben einer nicht ausreichenden thermoelektrischen Effizienz der verfügbaren Materialien sowie deren toxischen Eigenschaften, hindern die hohen Material- und Herstellungskosten für Generatoren deren industrielle Einführung.

Intrinsisch elektrisch leitfähige Polymere stellen eine vielversprechende Alternative zu den derzeit verwendeten Materialien dar. Das Fraunhofer IWS Dresden treibt deshalb die Entwicklung von p- und n-leitenden Polymeren voran und optimiert diese hinsichtlich ihrer thermoelektrischen Eigenschaften.

UNSERE LÖSUNG

Um die bisherigen Anwendungsfelder für Thermoelektrik zu erweitern und flexible thermoelektrische Generatoren herzustellen wird am Fraunhofer IWS Dresden als p-leitendes Polymer Poly(3,4-ethyldioxithiopen):p-Toluonsulfonsäureester (PEDOT:tos) und als n-leitendes Polymer Poly[$\text{K}_x(\text{Ni-ett})$] synthetisiert und optimiert. Beide Polymere weisen im Vergleich zu anderen intrinsisch leitfähigen Polymeren eine hohe elektrische Leitfähigkeit auf und bieten die Möglichkeit, die thermoelektrischen Eigenschaften an bestimmte Anforderungen anzupassen. Herausragend ist zudem, dass sowohl das p- als auch das n-leitende Polymer unter Einfluss von Luftfeuchte und Sauerstoff chemisch stabil ist und seine elektrische Leitfähigkeit beibehält.

Zur Verbesserung der thermoelektrischen Performance müssen der Seebeck-Koeffizient und die elektrische Leitfähigkeit erhöht sowie die thermische Leitfähigkeit reduziert werden. Durch eine geeignete Kontrolle der Polymersynthese und der Nachbehandlungsschritte kann die thermoelektrische Leistung gesteigert werden. Die optimierten Materialien werden anschließend durch effiziente Druckprozesse zu einem flexiblen thermoelektrischen Generator verarbeitet.

ERGEBNISSE

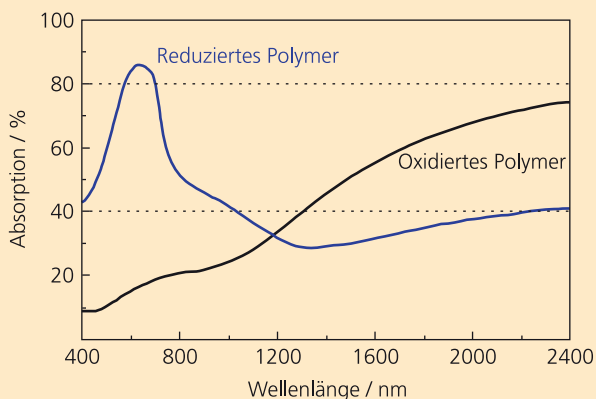
Zur Optimierung der thermoelektrischen Eigenschaften des p-leitenden Polymers (PEDOT:tos) wird eine Lösung bestehend aus Monomer, Lösemittel und Initiator per Rotationsbeschichtung (spin coating) auf ein Glassubstrat aufgebracht und auf einer Heizplatte polymerisiert. Nach anschließender Reinigung der Schicht werden die Proben thermisch behandelt und charakterisiert.



2

Durch die thermische Behandlung kann die elektrische Leitfähigkeit um 600 Prozent auf 30000 S m^{-1} (bei Raumtemperatur) gesteigert werden. Im oxidierten Ausgangszustand beträgt der Seebeck-Koeffizient typischerweise $15 \mu\text{V/K}$. Ausgehend von einer hohen elektrischen Leitfähigkeit wird durch chemische Reduktion der Seebeck-Koeffizient variiert und ein Optimum des Leistungsfaktors angestrebt. Der Oxidationsgrad von PEDOT:tos kann dabei mittels Infrarot-Spektroskopie verfolgt werden (Abb. 3).

IR-Absorptionsspektrum von PEDOT in Abhängigkeit von der Oxidationsstufe

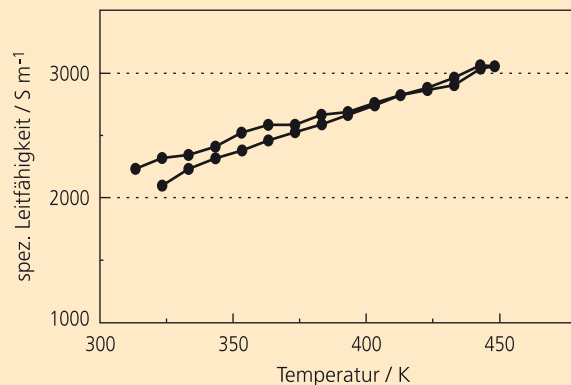


3

Bei der Synthese des n-leitenden Polymers ($\text{Poly}[\text{K}_x(\text{Ni-ett})]$) wird ein Übergangsmetall (hier Nickel) chemisch koordiniert in die Polymerkette eingebaut. Nach erfolgreicher Synthese liegt das Polymer als unlösliches Pulver vor. Durch einen geeigneten Dispergierprozess und ein optimiertes Binder/Lösemittel-System konnte eine Beschichtungslösung hergestellt werden. Nach der Schichtabscheidung erfolgte eine thermische Behandlung des Polymers bis etwa $180 \text{ }^\circ\text{C}$ unter normalen Umgebungsbedingungen (d. h. in Anwesenheit von Luftfeuchte und Sauerstoff).

Mit Hilfe der thermischen Nachbehandlung konnte der bei Raumtemperatur gemessene Seebeck-Koeffizient von $-25 \mu\text{V/K}$ auf über $-70 \mu\text{V/K}$ gesteigert werden. Gleichzeitig erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit des n-leitenden Polymers um etwa 60 Prozent auf 2200 S/cm^{-1} (Abb. 4).

Spezifische Leitfähigkeit von $\text{Poly}[\text{K}_x(\text{Ni-ett})]$ in Abhängigkeit von der Temperatur beim Aufheizen und Abkühlen



4

Die hergestellten Polymere werden im Folgenden zum Bau eines flexiblen thermoelektrischen Generators verwendet. Dabei werden die hergestellten Polymerdispersionen auf ein flexibles Vlies definiert aufgebracht (Patent angemeldet).

- 1 Apparatur zur Synthese von $\text{Poly}[\text{K}_x(\text{Ni-ett})]$
- 2 Synthetisiertes n-leitendes $\text{Poly}[\text{K}_x(\text{Ni-ett})]$ - Polymer

KONTAKT

M. Sc. Lukas Stepien
 Telefon: +49 351 83391-3092
 lukas.stepien@iws.fraunhofer.de





ADDITIVE FERTIGUNG VON THERMISCH HOCH BELASTETEN BAUTEILEN

DIE AUFGABE

Für Anwendungen im Hochtemperaturbereich, beispielsweise bei stationären Gasturbinen oder Strahltriebwerken, sind »Hochleistungswerkstoffe« unabdingbar. Diese gewährleisten bei Einsatztemperaturen oberhalb 700 °C eine ausreichende Oxidations-/Korrosionsbeständigkeit und Warmfestigkeit sowie optimale Kriech- und Relaxationseigenschaften. Die Herstellung durch Gießen oder Schmieden von Bauteilen aus solchen hochwarmfesten Legierungen erfordert einen hohen Aufwand und ist somit sehr kostenintensiv. Trotz ihrer angepassten Eigenschaften für den Hochtemperaturbereich sind Schädigungen während des Einsatzes an bestimmten Bereichen der Bauteile durch Erosion oder Tropfenschlag nicht vermeidbar. Wegen des lediglich partiellen Bauteilverschleißes bietet hierbei eine formgebende Reparatur durch einen Schweißauftrag gegenüber einer vollständigen Neuanfertigung kompletter Baugruppen wirtschaftliche Vorteile, um die Einsatzfähigkeit wieder herzustellen.

Die Bauteilherstellung und -reparatur mittels schweißtechnischer Verfahren stellt eine große Herausforderung dar, denn Nickel-Superlegierungen sowie neuartige Titan-Aluminide (γ -TiAl) gelten als nicht bzw. nur bedingt schweißbar.

An den Prozess zum Neuaufbau der Strukturen sind darüber hinaus hohe Anforderungen hinsichtlich der Endkonturnähe gesteckt, da sich obige Werkstoffe nur mit hohem Aufwand spanend bearbeiten lassen.

UNSERE LÖSUNG

Mit dem Laser-Pulver-Auftragschweißen steht ein generativer Prozess zur Verfügung, der mittels angepasster Temperaturregime die Herstellung von Hochleistungswerkstoffen ermöglicht. Durch eine präzise Prozesssteuerung und gleichzeitig durch Induktion in das Bauteil eingebrachte Wärme kann die Bildung von Heiß- und Kaltrissen unterdrückt werden. Diese Hybridtechnologie ermöglicht die Verarbeitung schwer bis nicht schweißbarer Legierungen in höchster Qualität.

Für die Überwachung und Steuerung des sensiblen Prozesses wird ein am Fraunhofer IWS Dresden entwickeltes System zur Temperaturüberwachung und -steuerung eingesetzt. Eine hochempfindliche Kamera dient zur thermografischen Beobachtung von metallischen Oberflächen. Die ermittelte Temperatur dient als Grundlage für einen Soll-Ist-Vergleich. Abweichungen können durch die Anpassung der Induktor- und Laserleistung minimiert werden. Auf diesem Weg lassen sich die für einen defektfreien Schweißauftrag erforderlichen Temperatur-Zeit-Abläufe regeln.

Trotz der zusätzlich in den Prozess eingebrachten Wärme wird durch die präzise Prozessabstimmung ein Werkstoffauftrag realisiert, der nur eine geringe Nachbearbeitung erfordert.

2



3



4

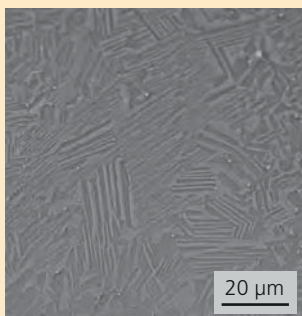
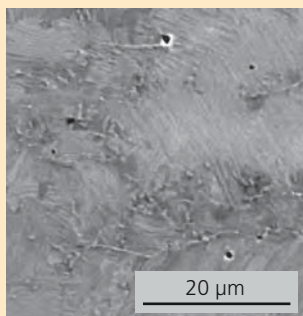


ERGEBNISSE

Mittels der in der Abbildung 1 gezeigten Anordnung zum Laser-Pulver-Auftragschweißen mit gleichzeitiger induktiver Erwärmung sind neuartige Volumenaufbauten aus Hochtemperaturwerkstoffen herstellbar. Abbildung 2 zeigt exemplarisch ein generiertes Volumen aus einer γ -TiAl-Legierung. Das Schweißgefüge der 65 mm hohen Probe mit $1 \times 1 \text{ cm}^2$ Querschnitt ist rissfrei. Aus der Darstellung der inneren Struktur mittels CT-Scan in Abbildung 3 ist lediglich eine sehr geringe Porosität zu erkennen.

Im Anschluss an den laserbasierten Aufbau ist eine Wärmebehandlung zur Einstellung optimaler mechanischer Eigenschaften des spröden Schweißgefüges notwendig. Die Mikrostruktur der wärmebehandelten Probe in Abbildung 5 rechts zeigt γ -Lamellen, welche aus den übersättigten α_2 -Körnern ausgeschieden sind.

Schweißgefüge des generierten TiAl-Volumens (links) und Mikrostruktur nach Wärmebehandlung des generierten TiAl-Volumens (rechts)



5

Ein weiterer mit dem aufgezeigten Verfahren verarbeitbarer Hochleistungswerkstoff ist die Nickelbasis-Superlegierung Mar-M247. Mit dieser Legierung konnten ebenso unter Verwendung der geregelten induktiven Wärmeeinkopplung verschiedene Geometrien mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen realisiert werden. Die bisherige Reparatur von Turbinenschaufeln erfolgt mit gut schweißbaren Werkstoffen, welche aber ungenügende Hochtemperatureigenschaften aufweisen, beispielsweise die Nickelbasislegierung Inconel 625. Zukünftig ist aber ein hochverschleißbeständiger Materialauftrag für thermisch hoch belastete Bauteile mit schwer schweißbaren Hochtemperaturwerkstoffen möglich. Abbildung 4 zeigt exemplarisch eine im Bereich der Schaufelspitze reparierte Turbinenschaufel.

- 1 *Koaxiale Laser-Pulver-Düse für generative Bearbeitung und zusätzlicher induktiver Wärmeeinkopplung*
- 2 *Mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen generativ hergestellter Volumenaufbau aus TiAl*
- 3 *CT-Scan-Darstellung des generierten TiAl-Volumens*
- 4 *Reparierte Schaufelspitze einer Turbinenschaufel*

KONTAKT

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



**ABTEILUNGSLEITER
PROF. DR. BERNDT BRENNER**



»Für das Können gibt es nur einen Beweis, das Tun.«

Marie von Ebner-Eschenbach



GESCHÄFTSFELD RANDSCHICHTTECHNIK

Redaktion: Spüren Sie eine Veränderung der Bedürfnisstruktur ihrer industriellen Projektpartner auf dem Gebiet der Randschichttechnik?

Prof. Brenner: Wie auch in allen anderen Technologiefeldern verspüren wir das Bestreben unserer Kunden, ihre Produktionsprozesse effizienter, ressourcenschonender und kostengünstiger durchzuführen, Prozessketten zu verkürzen und zu einer 100 Prozent-Qualitätskontrolle ihrer Produkte zu kommen. Seit Jahren verfolgen wir deshalb den Ansatz der »Integrierten Härtereik«. Der ineffizienten Unterbrechung der Prozessschritte zur mechanischen Teilebearbeitung durch ausgelagerte Wärmebehandlungsprozesse stellen wir die Integration des Randschichthärtungsprozesses direkt in die mechanische Fertigungsfolge entgegen. Hierzu ist im letzten Jahr ein wesentlicher Fortschritt gelungen. Für einen international renommierten Hersteller qualitativ hochwertiger Fräsmaschinen haben wir Module zur Überwachung des Auftragschweißens und Härtens mit Laser entwickelt und in mehrere seiner Maschinen integriert. Dadurch wird erstmalig die serielle Kopplung des Fräsens mit dem Laserauftragsschweißen oder dem Laserstrahlhärten in einem temperaturgeregelten, qualitätsgesicherten Prozess möglich.

Redaktion: Welche Größe können die Bauteile aufweisen?

Prof. Brenner: Das oben genannte Maschinenkonzept ist optimiert für kleine bis mittelgroße Bauteile, für die auch die größten Stückzahlen zu fertigen sind. Für größere bzw. ganz große Bauteile verfolgen wir zusammen mit unserer Ausgründung, der Alotec GmbH, ein anderes Konzept. Hierbei sind die nötige Laserstrahlformungseinheit und die Temperaturregeleinheit in einem Modul vereinigt, das am Arm eines auf einem Raupenfahrzeug befestigten Roboters angebracht ist. Der Roboter fährt dann vom Bediener gesteuert an die zu härtende Bauteilposition, wird arretiert und kann nach dem

Programmieren des Härtungsprogramms und der Bewegungsabläufe temperaturkontrolliert mit dem Härten der Funktionsflächen beginnen.

Redaktion: Welche Neuigkeiten gibt es im Bereich Technologieentwicklung?

Prof. Brenner: Vor Jahren hatten wir die Laserrandschichtaushärtung von Turbinenschaufeln in die Serie überführt. Jetzt konnten wir die Vorteile des Verfahrens auch an drei anderen aushärtbaren Stählen nachweisen. Damit steht das Verfahren jetzt als Technologie für sechs verschiedene ausscheidungs-härtbare Werkstoffe mit unterschiedlichen Legierungskonzepten zur Verfügung.

Redaktion: In Werkstoffen mit einem fertigungsbedingten Eigenschaftsgradienten, wie er z. B. bei der Randschichtveredlung auftritt, ist die Frage der Rissausbreitung während der Ermüdungsbelastung besonders kritisch. Wie begegnen Sie solchen Unsicherheiten?

Prof. Brenner: Die Rissausbreitung während der Ermüdungsbelastung ist besonders kritisch, wenn der Werkstoff unterhalb des klassischen Dauerschwingfestigkeitswertes belastet wird und der Riss unterhalb der Oberfläche beginnt. Eine frühzeitige Rissdetektion macht sich dann aus zwei Gründen erforderlich. Zum einen ist man zur Verfahrensoptimierung auf Aussagen zum Beginn der Rissinitiierung angewiesen und zum anderen sind prinzipielle Aussagen erforderlich, ab welcher Defektgröße Defekte unter Bedingungen der Hochfrequenzbelastung versagensrelevant sind. Durch die Kombination von drei verschiedenen Detektionsverfahren konnte in unserer Arbeitsgruppe ein probates Verfahren zur in-situ-Schädigungsdetektion während der Hochfrequenzermüdung gefunden und für laserstrahlgeschweißte Al-Proben verifiziert werden (siehe Seiten 66 / 67).



KOMPETENZEN

BEANSPRUCHUNGSGERECHTES RANDSCHICHTVEREDELN MITTELS LASER UND INDUKTION

Für Bauteilgeometrien, Verschleißfälle und Werkstoffe, bei denen konventionelle Härtetechnologien versagen, bieten Laserrandschichttechnologien wie z. B. das Laserstrahlhärten, das 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. Die Arbeitsgruppe bietet an:

- Entwicklung von Randschichthärtetechnologien mit Lasern oder Induktion bzw. beidem,
- Randschichtveredelung von Entwicklungs- und Prototypmustern,
- Entwicklung von Systemtechnik zur Prozessüberwachung und -regelung.

KOMPLEXE WERKSTOFF- UND BAUTEILCHARAKTERISIERUNG

Die Beherrschung moderner Füge- und Randschichtverfahren erfordert Kenntnisse von den strukturellen Änderungen bis zu den resultierenden Bauteileigenschaften. Eine moderne Geräteausstattung im Bereich der Strukturanalyse (Metallographie, REM mit EDX / WDX, HRTEM) und der mechanischen Prüfung (u. a. Hochfrequenz- und multiaxiale Ermüdung) sowie unsere langjährige Erfahrung zur Thematik der Struktur- und Bauteilzuverlässigkeit macht die Arbeitsgruppe zum kompetenten Partner bei der Eigenschaftsbewertung, Aufklärung von Schadensfällen und anwendungsnahen Schulungen.



ABTEILUNGSLEITER

PROF. BERNDT BRENNER

Telefon +49 351 83391-3207

berndt.brenner@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

RANDSCHICHTVERFAHREN

DR. STEFFEN BONSS

Telefon +49 351 83391-3201

steffen.bonss@iws.fraunhofer.de



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2014

1. Eigenschaftsoptimierung moderner Hochleistungsstähle durch Laserhärten 60
2. Vernetzte Systemtechnik zur Laserbearbeitung 62
3. Verformungsverhalten von Stählen bei Dehnratenabhängigkeit 64
4. In-situ-Charakterisierung der Schädigung während der Hochfrequenzermüdung 66

GRUPPENLEITERIN

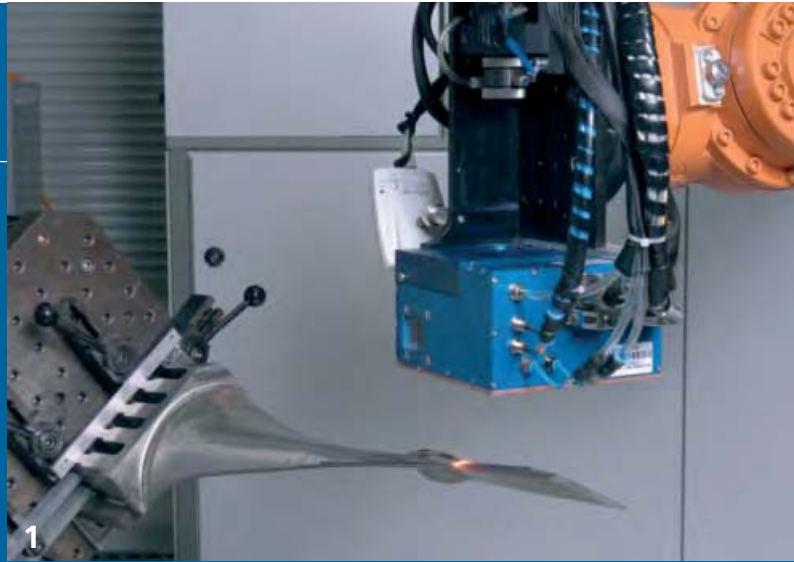
WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG

PROF. MARTINA ZIMMERMANN

Telefon +49 351 83391-3573

martina.zimmermann@iws.fraunhofer.de





EIGENSCHAFTSOPTIMIERUNG MODERNER HOCHLEISTUNGSSTÄHLE DURCH LASERHÄRTEN

DIE AUFGABE

In den meisten hochfesten Legierungen liefert die Ausscheidungshärtung den größten Beitrag zur Festigkeit. Deshalb wären hoch- und höchstfeste Aluminium-, Kupfer-, Titan-, Nickel- und auch Eisenlegierungen ohne den Prozess der Ausscheidungshärtung nicht denkbar. Wegen der mit der Festigkeit und der Härte stark abnehmenden Duktilität und Zähigkeit können ausscheidungshärtbare Werkstoffe jedoch in vielen Einsatzfällen nicht im maximal ausgehärteten Zustand eingesetzt werden. Im über- oder unteralterten Zustand ist ihre Beständigkeit gegenüber Abtragsverschleiß jedoch oft zu gering.

Diese Einschränkung trifft insbesondere auch auf rostfreie ausscheidungshärtbare martensitische Chrom-Nickel-Stähle zu. Sie erlauben die Realisierung eines breiten Eigenschaftsspektrums, insbesondere die nur schwierig zu realisierende Kombination von hoher Festigkeit, hoher Zähigkeit, sehr hoher Dauerschwingfestigkeit sowie hoher Korrosionsbeständigkeit. Aufgrund dieser günstigen Eigenschaftskombination haben diese Stähle Anwendungen in Anlagen der Energiegewinnung, der Meeres- und Medizintechnik sowie der Luft- und Raumfahrt gefunden. Problematisch gestaltet sich jedoch ihr Einsatz in stark verschleißbelasteten Bauteilen.

Aus diesem Grund wurde am Fraunhofer IWS ein neues Verfahren der sogenannten Randschichtaushärtung nach Laserlösungsglühung entwickelt, um verschleiß- und ermüdungsfeste Randschichten auf hochbeanspruchten Bauteilen aus ausscheidungshärtbaren Stählen erzeugen zu können.

UNSERE LÖSUNG

Der Lösungsansatz des entwickelten Verfahrens geht davon aus, den unterschiedlichen Anforderungen an die Randschicht und das Bauteilinnere durch zwei jeweils spezifisch angepasste Wärmebehandlungszyklen zu entsprechen. Im ersten Wärmebehandlungszyklus wird das gesamte Bauteil konventionell lösungsgeglüht und nach Abkühlung auf Raumtemperatur bei einer vergleichsweise hohen Glühetemperatur zu einem sehr zähen, stark überalterten Zustand ausgelagert. Der zweite Wärmebehandlungszyklus besteht aus einer Randschichtlösungsglühung mittels eines Lasers oder durch Induktion bis zur gewünschten Tiefe, einer Schnellabkühlung der Randschicht durch Selbstabschreckung und einer abschließenden Auslagerungswärmebehandlung auf hohe Härte.

Zur Realisierung des Prozessschrittes der Laserlösungsglühung konnte auf Verfahrensentwicklungen, die zum konventionellen Laserstrahlhärten entwickelt wurden, zurückgegriffen werden. Diese beinhaltet u. a. die Verwendung von modernen Hochleistungsdiodelasern, Strahlformungseinrichtungen, Robotern und Temperaturmess- und -regeleinrichtungen.

Durch Charakterisierung der Gefüge- und Ausscheidungsstrukturen, die bei Randschichtaushärtung nach Laserlösungsglühung entstehen und durch Ermittlung mechanischer und tribologischer Eigenschaften sollen die metallphysikalischen und werkstofftechnischen Voraussetzungen geschaffen werden, die Anwendung des Verfahrens auch auf andere Werkstoffklassen ausdehnen zu können.



2

ERGEBNISSE

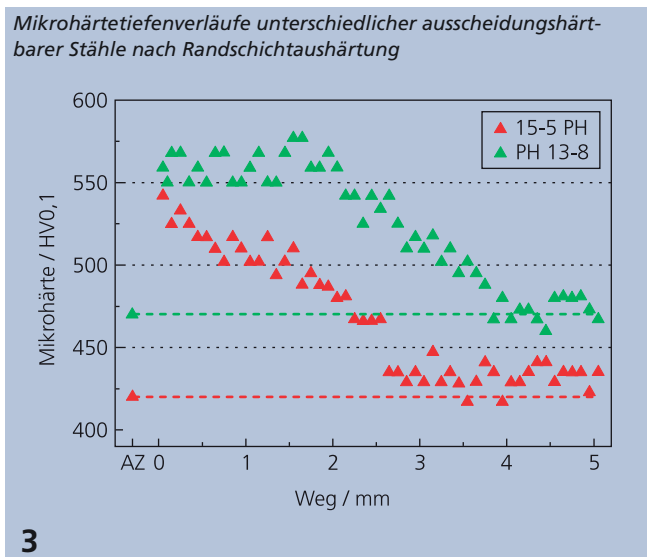
Die Eignung des Verfahrens zum industriellen Einsatz für die Steigerung der Tropfenschlagverschleißbeständigkeit von hochbelastete Turbinenschaufeln, die aus dem ausscheidungshärtbaren Stahl X5CrNiCuNb16-4 (17-4 PH) gefertigt werden, konnte für einer Vielzahl von Anwendungen in Dampfturbinen der Firma Siemens Power Generation nachgewiesen werden (Abb. 1).

Aufbauend auf diesen Erfolg wurde das Verfahren erfolgreich auf zwei weitere ausscheidungshärtbare Stähle (X5CrNiCuNb15-5 (15-5 PH), X3CrNiMoAl13-8-2 (PH 13-8)) übertragen. So konnten in der laserausgehärteten Randschicht für alle untersuchten Stähle Härtesteigerungen um bis zu 150 HV bei Einhärtetiefen bis zu 4 mm erzielt werden. Im Kavitationsverschleißtest reduziert sich die Verschleißrate auf weniger als die Hälfte. In Zugversuchen konnte nachgewiesen werden, dass sich die Festigkeit in der ausgehärteten Randschicht um bis zu 50 Prozent im Vergleich zum Materialinneren, d. h. dem Anlieferungszustand steigern lässt.

Hochauflösende Gefügeanalysen demonstrieren, dass sich die verbesserten Eigenschaften der laserausgehärteten Randschicht auf einer homogeneren, feineren und damit dichteren Ausscheidungsstruktur beruhen. Die eigenschaftsbestimmenden Cu- bzw. Ni₃Al-Ausscheidungen sind im Mittel deutlich kleiner als 10 nm (Abb. 2). Weitere positive Effekte der Laserglühbehandlung sind das Auflösen größerer Karbide und die Erzielung einer deutlich höheren thermischen Stabilität der erzeugten Ausscheidungsstrukturen.

Mit dem am Fraunhofer IWS Dresden entwickelten Verfahren der Randschichtaushärtung nach Laserlösungsglühung ist es möglich, bisher bestehenden Grenzen zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften und der Verschleißbeständigkeit von ausscheidungshärtbaren Stählen zu überwinden. Durch die Erzeugung von Gradientenstrukturen ist es möglich, die mechanische Belastbarkeit von Bauteilen besser an die im

Einsatzfall vorliegende Beanspruchung anzupassen und somit das ausgezeichnete Eigenschaftspotenzial dieser modernen Klasse von Hochleistungswerkstoffen besser auszuschöpfen. Es wird eingeschätzt, dass das Verfahrenskonzept auch auf weitere ausscheidungshärtbare Werkstoffklassen, wie z. B. Titanlegierungen, niedriglegierte Kupferlegierungen und hochwärmfeste Nickelbasislegierungen übertragbar ist.



3

- 1 Laserrandschichtlösungsglühung der Eintrittskante einer Turbinenschaufel
- 2 TEM-Dunkelfeldaufnahme der Ni₃Al-Ausscheidungsstruktur im randschichtausgehärteten Stahl

KONTAKT

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



VERNETZTE SYSTEMTECHNIK ZUR LASERBEARBEITUNG

DIE AUFGABE

Anlagen zur Laserbearbeitung sind hochkomplexe Anlagensysteme. Sie bestehen grundsätzlich aus einer Bewegungseinheit, einer Laserstrahlquelle sowie einer Prozesssteuerung. Für eine sichere Prozessführung oder anwendungsbezogene Bedienung wird jedoch eine Vielzahl von zusätzlichen Komponenten eingesetzt. Solche Systeme sind z. B. Messtaster, Werkzeugwechsler, Prozessgassteuerung und sicherheitsbedingte Baugruppen sowie prozessspezifische Systemtechnik wie z. B. die Temperaturmesssysteme »E-FAqS« und »E-MAqS«, die Laserstrahlformung »LASSY«, das Laserstrahlmonitoringsystem »LasMon«, den Laserfaserbruch- bzw. -biegesensor »MOPS«.

Jedes Einzelsystem besitzt mehrere Ein- und Ausgabeschnittstellen. Die sich so ergebende Komplexität des Gesamtsystems provoziert eine Vielzahl von erwartbaren sowie unvorhersehbaren Fehlern unterschiedlichster Art, von Bauteilausfällen bis hin zu Bedienfehlern. Diese Fehler führen optimalerweise zu einfachen Fehlermeldungen, im ungünstigen Fall zur Zerstörung von Komponenten. Vor allem in der Phase der Inbetriebnahme und Erstverwendung haben Fehlbedienungen einen wesentlichen Anteil an der Fehlerhäufigkeit. Aber auch verschiedene Umwelt- und Klimabedingungen, spezifische Kunden-Setups und der unterschiedliche technische Hintergrund der Anwender sind Fehlerursachen. Dem gegenüber stehen die Erwartungen an eine einfache Bedienung, hohe Zuverlässigkeit und uneingeschränkte Verfügbarkeit bei optimierten Kosten.

UNSERE LÖSUNG

Eine Möglichkeit, diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist es paradoxerweise, die Komplexität der Anlagen weiter zu erhöhen. Das Fraunhofer IWS Dresden versucht jegliche Messwertaufnahme mittels eines redundanten Sensors zu ergänzen. Aufgrund der meist schon vorhandenen Vielzahl von Sensoren der Einzelsysteme gibt es diese Redundanz bereits sehr oft.

Die Nutzung dieser diversitären Redundanz ist auf dem Gebiet der funktionalen Sicherheit zum Schutz von Personen Stand der Technik. Die identischen Prinzipien sind jedoch auch geeignet, um die Fehlerbehandlung nicht sicherheitsgerichteter Systeme realisieren zu können.

ERGEBNISSE

Das Fraunhofer IWS Dresden verwendet zusätzlich zu den system- bzw. prozessrelevanten Sensoren Komponenten, welche keine unmittelbare Funktion für den Laserprozess haben, sondern ausschließlich der Diagnosemöglichkeit des Systems dienen. In den eigens entwickelten systemtechnischen Komponenten kommen beispielsweise Sensoren zur transienten Messung der Energieversorgung sowie Temperatur- und Beschleunigungssensoren zum Einsatz. Diese Bauteile sind sehr kostengünstig und aufgrund ihrer sehr kleinen Baugröße in jedes System leicht integrierbar. Die umfangreiche Sensorik bildet die Grundlage für das Detektieren von möglichst allen anzunehmenden Fehlzuständen.



Aufgrund der hohen Anzahl der Sensoren kommen für die Verarbeitung der Signale ausschließlich Feldbussensoren zum Einsatz. Das ermöglicht einen jederzeit erweiterbaren und flexiblen Anschluss weiterer Komponenten. Eigenentwickelte Systemkomponenten werden ebenfalls mit Feldbussystemen ausgestattet. Dafür notwendige Leiterkarten werden zweckangepasst entwickelt.

Die Auswertung aller Signale und der damit verbundenen Fehlerdiagnose kann jedoch aufgrund der Datenfülle nicht durch den Anlagenbediener durchgeführt werden. Hierfür hat das Fraunhofer IWS eine Software entwickelt, die neben der Fehlerdiagnose der Einzelkomponenten ein kundenspezifisches Funktionsmodell des Gesamtsystems erstellt, mit dem permanent verglichen wird. Dieses Softwaremodell wird auf Feldbussebene visualisiert und meldet neben dem Zustand einzelner Sensoren auch komplexe Fehlerketten. Damit können schnell und effektiv Fehlerkorrekturen durchgeführt werden (siehe Abb. 1).

Alle so ermittelten Ereignisse und Zustände werden in einer anlagenspezifischen Historie gespeichert. Diese dient als Grundlage der Weiterentwicklung des Anlagenfunktionsmodells und für zukünftige automatisierte Wartungsanweisungen. Wesentlich ist jedoch, dass dieses Modell sowie alle aktiven Zustände online beim Komponenten- bzw. Anlagenhersteller abgebildet werden können. Dieser Fernzugriff ermöglicht umfangreiche Hilfestellungen bei Inbetriebnahmen, zu Schulungszwecken, bei der Fehlersuche und Wartungsmaßnahmen.

Zusätzlich zum Fernzugriff auf alle Anlagensensoren und -zustände gibt es die Möglichkeit der Ton- und Videoübertragung. So können Anlagenbetreiber über Headset geführt werden, Livebilder einer Prozess- bzw. Kabinenkamera sind übertragbar. Letztlich kann die komplette Anlage für eine spezifische Aufgabe oder einen neuen Laserprozess über Teleservice vorbereitet werden. Grundsätzlich ist auch die komplette Prozesssteuerung aus der Ferne möglich.

Die konsequente Vernetzung aller Systemkomponenten entspricht in vielen Punkten der Idee des Zukunftsprojektes »Industrie 4.0«. Vor allem ist es jedoch möglich, die Phase der Inbetriebnahme sowie die Reaktionszeiten bei Anlagenausfällen deutlich zu verkürzen. Die Möglichkeit einer vollständigen Anlagen- und Kundenbetreuung ohne vor Ort sein zu müssen, steigert die Effektivität und senkt deutlich den Aufwand und die Kosten.

1 Steuerungsplatine für das Kamerasystem »E-MAqS« mit integriertem ASI Bus

KONTAKT

Dipl.-Ing. Jan Hannweber
 Telefon: +49 351 83391-3360
jan.hannweber@iws.fraunhofer.de





VERFORMUNGSVERHALTEN VON STÄHLN BEI DEHNRATENABHÄNGIGKEIT

DIE AUFGABE

Gegenwärtig ist ein stark zunehmender Simulationsbedarf zur Vorhersage des Verformungsverhaltens sowohl von fertigen Bauteilen im Einsatz (Crashverhalten) als auch bei der Fertigung von Halbzeugen (Blech- und Massivumformung) festzustellen. Viele dieser technischen Prozesse sind dadurch gekennzeichnet, dass die betreffenden Werkstoffe große plastische Verformungen erfahren und diese oftmals in kurzen Zeiten stattfinden.

In der zur Simulation des Bauteilverhaltens eingesetzten Software sind spezielle Werkstoffmodelle implementiert, die das elastische und plastische Verformungsverhalten des jeweiligen Werkstoffs numerisch in Abhängigkeit von Werkstoffdehnung, Temperatur und Dehnraten beschreiben. Dies geschieht in vielen Fällen durch Fließkurven der Form $\sigma = (\epsilon, T, \dot{\epsilon})$. Die Zuverlässigkeit der Simulationsergebnisse ist aber immer nur so gut wie die Qualität der Werkstoffmodelle und der benötigten Parameter.

Ein Verbundprojekt der Fraunhofer-Institute IWU Chemnitz, IWS Dresden und ICT Pfinztal widmet sich der Simulation des Umformverhaltens von Stahlrohren aus X39CrMo17-1 bei der Massivumformung mittels Innendruck. Zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens dient das Softwarepaket »simufact«, welches das empirische Werkstoffmodell von Hensel und Spittel benutzt. Aufgabe des IWS im Rahmen dieses Verbundprojekts ist die Bestimmung der Materialparameter für das Werkstoffmodell unter Berücksichtigung der Dehnratenabhängigkeit des Verformungsverhaltens.

UNSERE LÖSUNG

Aus Rundmaterial des Stahls X39CrMo17-1 wurden Flachzugproben erosiv herausgearbeitet. Dabei kam eine spezielle Probenform mit vergleichsweise kurzer paralleler Messlänge zur Anwendung.

Voraussetzung für eine zuverlässige Messdatenerfassung auch bei hohen Dehnraten ist ein Dehnungssensor für dynamische Versuche an einer servohydraulischen Prüfmaschine. Mit dieser Prüfeinrichtung erfolgte die Prüfung von zahlreichen Zugproben. Über die rechnergesteuerte Versuchsführung wurden Dehnraten im Bereich von $\dot{\epsilon} < 1 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ bis $\dot{\epsilon} > 5 \text{ s}^{-1}$ realisiert. Für jede Prüfgeschwindigkeit fanden mindestens drei Zugversuche statt, so dass eine ausreichende statistische Sicherheit bei den gewonnenen Messdaten erreicht werden konnte.

Bereits die aus den Zugversuchen resultierenden Zugfestigkeitskennwerte zeigten deutlich den Dehnrateneinfluss auf das Verformungsverhalten. Mit zunehmender Dehnraten wies die Zugfestigkeit R_m einen deutlichen Zuwachs auf, während die Gleichmaßdehnung A_g abnahm. Zur weiteren Auswertung der Messdaten erfolgte nun die Umrechnung der bei den einzelnen Zugversuchen erhaltenen technischen Spannungs-Dehnungs-Diagramme in wahre Spannungs-Dehnungs-Diagramme (Fließkurven). Daraus wurde für jede realisierte Dehnraten eine repräsentative Fließkurve ausgewählt und jeweils ein reduzierter Datensatz mit ca. 30 Wertepaaren pro Kurve generiert. Diese Datensätze dienten als Basisdaten für die eigentliche Anpassung der Parameter des Hensel-Spittel-Werkstoffmodells.



ERGEBNISSE

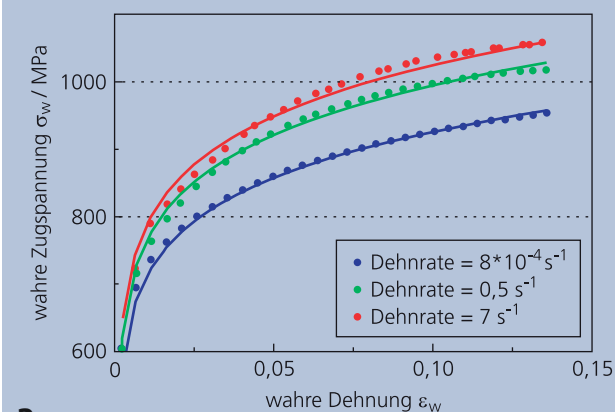
Im Hensel-Spittel-Werkstoffmodell wird der Zusammenhang zwischen Fließspannung σ_w und wahrer Dehnung ϵ_w durch die Gleichung:

$$\sigma_w = A \cdot \epsilon_w^{a_1} \cdot e^{a_4/\epsilon_w} \cdot \dot{\epsilon}^{a_2} \cdot e^{-a_3 \cdot T}$$

beschrieben. Neben den fünf Materialparametern (A , a_1 , a_2 , a_3 , a_4) und der Dehnung ϵ_w als unabhängige Variable, treten die Temperatur T und die Dehnrates $\dot{\epsilon}$ als zwei weitere unabhängige Variable auf.

Da die Zugversuche bei Raumtemperatur erfolgten, reduziert sich die Modellanpassung auf eine Kurvenanpassung mit zwei unabhängigen Variablen und vier zu bestimmende Parameter. Die Anpassung dieser Modellparameter erfolgte iterativ unter Nutzung von Analysesoftware. Das Ergebnis ist in Abbildung 3

Zusammenhang zwischen Fließspannung σ_w und Dehnung ϵ_w für verschiedene Dehnrates $\dot{\epsilon}$ (Vergleich des Hensel-Spittel-Modells (durchgezogene Kurven) mit den experimentellen Daten (Punktsymbole))



3

als Vergleich zwischen Messdatenpunkten und den Kurven des angepassten Modells dargestellt. Die gute Übereinstimmung der beiden Kurvenverläufe ist ein Beleg dafür, dass mit den ermittelten Parametern eine realitätsnahe Beschreibung des Verformungsverhaltens von X39CrMo17-1 gelingt. Mit den hier ermittelten Parametern kann im Fraunhofer IWU Chemnitz die mehrstufige Umformung dickwandiger Rohre simuliert und die Anzahl aufwendiger Umformexperimente zur Entwicklung einer Fertigungstechnologie für Ventilhülsen minimiert werden.

- 1 Servohydraulische Prüfmaschine zur Durchführung der Zugversuche mit hohen Dehnrates
- 2 Zugprobe mit schnellem Dehnungsaufnehmer

KONTAKT

Dr. Gunter Kirchhoff
 Telefon: +49 351 83391-3225
gunter.kirchhoff@iws.fraunhofer.de





IN-SITU-CHARAKTERISIERUNG DER SCHÄDIGUNG WÄHREND DER HOCHFREQUENZERMÜDUNG

DIE AUFGABE

Die technisch wichtige und wissenschaftlich interessante Frage nach dem Verhalten metallischer Konstruktionswerkstoffe bei zyklischer Belastung mit niedrigen Spannungsamplituden und damit hohen Lastspielzahlen (Very High Cycle Fatigue = VHCF) erfährt in den letzten Jahren verstärkte Beachtung von Seiten der Industrie. Mit zunehmender Ausschöpfung des Leichtbaupotenzials wird der Anspruch an eine effiziente Auslegung von Strukturbauteilen immer entscheidender. Es stellt sich die Frage, welcher Sicherheitsbeiwert gerade noch tolerierbar ist, so dass die maximal zu erwartende Defektgröße nicht mehr versagensrelevant ist.

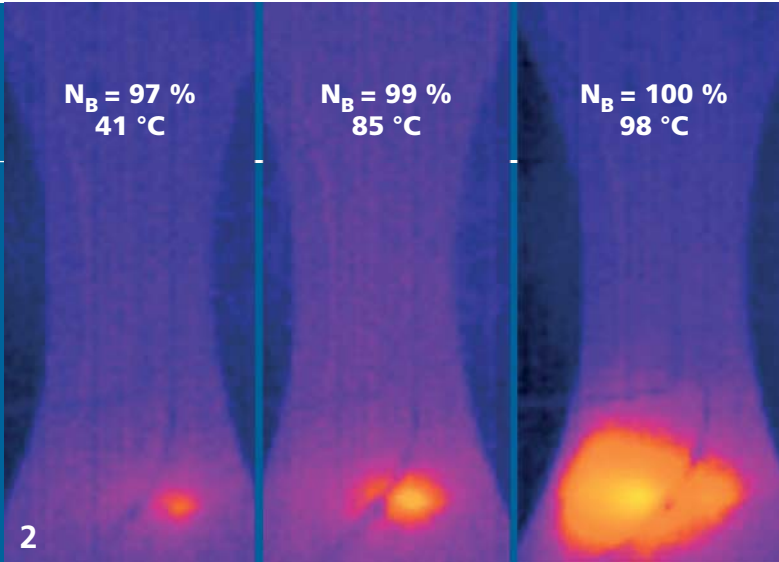
In der Vergangenheit wurden Beanspruchungen unterhalb einer bestimmten Belastungsgrenze – der klassischen Dauerfestigkeit – als nicht schädigungsrelevant betrachtet. Jüngste Forschungsergebnisse zeigen dagegen, dass insbesondere bei defektbehafteten Bauteilen bei hinreichend vielen Belastungszyklen dennoch ein wachstumsfähiger Ermüdungsriss entstehen kann. Eine besondere Herausforderung stellt dabei der häufig zu beobachtende Wechsel des Rissinitiierungsortes von der Oberfläche in das Innere einer Probe bzw. eines Bauteils dar.

Um das von einem Defekt bzw. einer mikrostrukturellen Ungänge ausgehende Risswachstum auch unterhalb der Oberfläche frühzeitig zu erkennen und quantitativ zu beschreiben, bedarf es einer engen Verknüpfung von Hochfrequenz-Ermüdungsprüftechnik mit in-situ-Schädigungsdetektionsverfahren.

UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer IWS Dresden stehen verschiedene Messprinzipien zur Verfügung, die in Kombination mit der Hochfrequenzermüdungsprüftechnik zur in-situ-Detektion von Schädigungen angewandt werden können. Der Einsatz von Prüfsystemen, die auf der Anregung der mechanischen Belastung mittels Resonanzschwingung basieren (Abb. 1), ermöglichen beispielsweise eine sehr frühzeitige Detektion der Rissinitiierung während der Ermüdung. Bereits mikrostrukturell kleinste Veränderungen im Werkstoff haben einen Einfluss auf das Dämpfungsverhalten einer Probe und machen sich durch eine Veränderung der Resonanzfrequenz bemerkbar. Kombinerbar ist diese Messmethode mit einer thermographischen Überwachung (Abb. 2), die eine Lokalisierung eines Risses ermöglicht – an der Oberfläche wie auch im Probeninneren. Damit qualifizieren sich diese Messprinzipien auch für inhomogene Strukturen wie beschichtete Bauteile und Verbundwerkstoffe.

Die ebenfalls am IWS verfügbare Ultraschallermüdungsprüftechnik bietet eine weitere Möglichkeit zur frühzeitigen Schädigungsdetektion. Das sinusförmige Signal in Form einer sich über der Probenlängsachse longitudinal ausbreitenden mechanischen Welle durchläuft den Probenkörper und führt aufgrund des nichtlinearen Materialverhaltens zur Bildung höherer Harmonischer in Form ganzzahliger Vielfacher der Grundfrequenz. Mit Einsetzen der Rissinitiierung bzw. des Risswachstums ist ein deutlicher Anstieg der zweiten Harmonischen zu verzeichnen. Die Aufzeichnung und Auswertung des Feedbacksignals resultiert in der Ableitung eines sogenannten Nichtlinearitäts-Parameters.

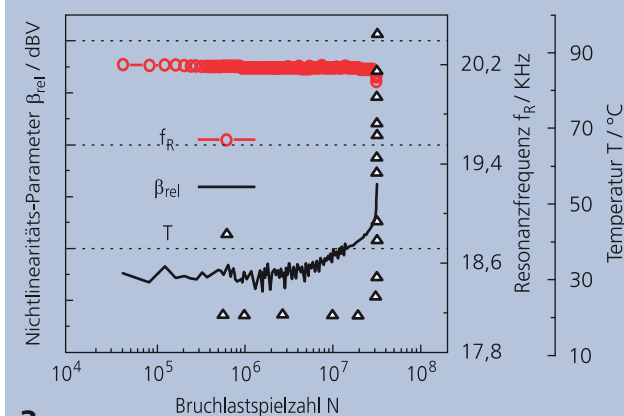


ERGEBNISSE

Je komplexer der Eingriff eines Fertigungsverfahrens in die Werkstoffstruktur in den kritisch beanspruchten Bereichen ausfällt, um so stärker gewinnt die Bewertung von Defekten und Ungängen an Bedeutung. Sie entscheidet über das notwendige Qualitätsmaß, um die geforderte Ausfallsicherheit zu gewährleisten. Im Bereich sehr hoher Lastspielzahlen gilt es daher, die Schwelle zwischen gerade noch zulässigen gegenüber versagensrelevanten rissähnlichem Defekt zu bestimmen.

Am Beispiel einer Aluminium-Schweißverbindung konnten deutliche Unterschiede in der Sensibilität der Schädigungsdetektion anhand der vorgestellten Methoden festgestellt werden. Fraktographische Untersuchungen im Anschluss an den Ermüdungsversuch zeigen den Beginn einer Rissinitiierung ausgehend von einem Heissriss im Probeninneren. Der Verlauf der höheren Harmonischen (im Diagramm dargestellt durch den sogenannten Nichtlinearitäts-Parameter) zeigt bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt während der Ermüdung an, dass eine Schädigungsentwicklung stattfindet. Demgegenüber ist am Verlauf der Resonanzfrequenz und der Temperaturänderung über der Zyklenzahl erst kurz vor dem Probenversagen ein Nachweis des Schädigungsfortschritts erkennbar.

Änderung der Resonanzfrequenz, dem Nichtlinearitäts-Parameter und der Temperatur während der zyklischen Verformung einer geschweißten Ermüdungsprobe



Referenzversuche an quasi defektfreien Proben aus dem Grundwerkstoff zeigen eine Rissinitiierung ausgehend von der Oberfläche. In diesem Fall kündigt eine frühzeitige Temperaturänderung das nachfolgende Versagen der Ermüdungsprobe an während keine signifikante Änderung der Resonanzfrequenz und der höheren Harmonischen zu verzeichnen ist.

Die Prüfsystem-inhärenten Signale zur Detektion einer Schädigungsentwicklung der am IWS zum Einsatz kommenden Resonanzpulsationsprüfsysteme eignen sich damit insbesondere zur Detektion des größten versagensrelevanten Defekts inhomogener Strukturen, wie beispielsweise gefügter Verbindungen oder auch Verbundwerkstoffen. Ist neben der Information über den zeitlichen Verlauf der Schädigungsentwicklung hinaus auch der Ort der Rissinitiierung von Bedeutung, stellt die Kombination aus der Aufzeichnung des Schwingungsverhaltens der Probe und der thermographischen Überwachung eine probate Methode zur in-situ-Schädigungscharakterisierung während der Hochfrequenzermüdung dar.

- 1 *Resonanzpulsationsprüfstand und Thermokamera zur Schädigungsdetektion während der Hochfrequenzermüdung*
- 2 *Lokal gemessene Maximaltemperaturentwicklung während der Ermüdung an einem Defekt im Volumen*

KONTAKT

Prof. Martina Zimmermann
 Telefon: +49 351 83391-3573
martina.zimmermann@iws.fraunhofer.de



**ABTEILUNGSLEITER
DR. ANDREAS WETZIG**



»Man muss etwas Neues machen, um etwas Neues zu sehen.«
Georg Christoph Lichtenberg



GESCHÄFTSFELD ABTRAGEN UND TRENNEN

Redaktion: Herr Dr. Wetzig, im Mittelpunkt der Forschung bei Fraunhofer steht immer der Anwendungsbezug mit dem Ziel, Innovationen hervorzubringen. Was hat sich in dieser Hinsicht in Ihrem Geschäftsfeld im vergangenen Jahr getan?

Dr. Wetzig: Ideen und Erfindungen sind erst dann Innovationen, wenn diese in neue Produkte und Verfahren umgesetzt und tatsächlich erfolgreich auf dem Markt angewendet werden. In diesem Sinne bin ich stolz darauf, dass es uns in diesem Jahr gelungen ist, eine echte Innovation auf den Markt zu bringen. Zusammen mit Industriepartnern aus Deutschland haben wir bei einem Kunden in Übersee erstmalig einen Prozess implementiert, der einen Faserlaser großtechnisch zur Verbesserung der magnetischen Eigenschaften von kornorientierten Elektroblechen nutzt. Diese Bleche werden zum Bau von Transformatoren verwendet.

Durch den Prozess des sogenannten »Laser Magnet Domain Refinement« lassen sich die Verlustleistungen eines Transformators verringern. Neu daran ist, dass sich durch den erstmaligen Einsatz eines Faserlasers nicht nur das Anlagenkonzept vereinfacht, sondern sich die Verlustleistung noch weiter reduzieren lässt, und zwar um bis zu 15 Prozent gegenüber 10 Prozent bei Verwendung von CO₂-Lasern.

Redaktion: Die Ideen von heute sind die Innovationen von morgen. Welche neuen Ideen gibt es auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung von magnetischen Werkstoffen?

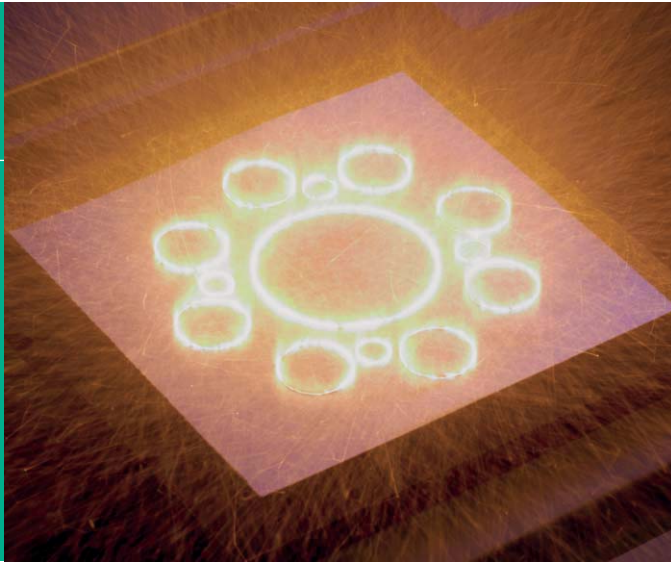
Dr. Wetzig: Aktuell arbeiten wir am nächsten Schritt, um diese Technologie künftig auch auf Elektrobleche für Motoren und Generatoren auszuweiten. Diese magnetischen Werkstoffe weisen jedoch eine andere, nichtkornorientierte Struktur auf und haben demzufolge auch andere magnetische Eigenschaften, so dass sich unser Verfahren nicht einfach eins zu eins übertragen lässt. Im Fall der Laserbehandlung von

nichtkornorientierten Elektroblechen hängen die erreichbaren Vorteile vom Arbeitspunkt des jeweiligen Motors ab. Für Hochleistungsantriebe wie beispielsweise Fahrmotoren, die mit hoher Drehzahl betrieben werden, ergeben sich um einige Prozent verringerte Verluste. Darüber hinaus lassen sich bei elektrischen Antrieben mit hohen Drehmomenten diese um bis zu 5 Prozent steigern.

Redaktion: Die Stärke Ihres Geschäftsfelds liegt in der Verfahrensentwicklung und der anschließenden systemtechnischen Umsetzung. Können Sie weitere Beispiele nennen, wo eine systemtechnische Entwicklung auf die Entwicklung eines Laserverfahrens zurückzuführen ist?

Dr. Wetzig: Als eine von vielen Entwicklungen möchte ich hier den hochdynamischen FormCutter, kurz HDFC, erwähnen. Er ist aus der Anforderung heraus entstanden, die technologisch möglichen, extrem hohen Prozessgeschwindigkeiten beim Schneiden mit modernen Festkörperlasern in Maschinenkonzepten umzusetzen.

Manchmal ist aber auch genau umgekehrt: Erst das Vorhandensein einer eigenen speziell von uns entwickelten Systemtechnik schafft die Voraussetzung für neue Verfahrensentwicklungen. Aus unserem Bereich Mikrotechnik sind hier zwei schöne Beispiele zu nennen. So schaffen unsere anwendungsorientierten Entwicklungen zur THz-Technologie überhaupt erst die Voraussetzung für aktuelle Forschungsarbeiten zum Thema Detektion von Bioziden. Des Weiteren möchte ich die Arbeiten zu den universellen Lab-on-Chip-Plattformen hervorheben. Sie eröffnen den Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der roten, weißen, grauen und grünen Biotechnologie völlig neue Möglichkeiten – nicht nur für uns, sondern auch für unsere Partner in Industrie und Wissenschaft.



KOMPETENZEN

HIGH-SPEED-LASERBEARBEITUNG

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 Schweißen, Schneiden, Abtragen und Oberflächenbehandeln von Metallen und Nichtmetallen auch das Entwerfen, Aufbauen und Qualifizieren hochdynamischer Bearbeitungssysteme.

SCHNEIDEN

Die Arbeitsgruppe widmet sich Verfahrensentwicklungen auf dem Gebiet des Laserschmelzschneidens. Schwerpunkte sind z. B. die Verbesserung der Schneidqualität beim Trennen mit Festkörperlasern oder die Optimierung des Laserschneidens von Elektroblechen unter Beibehaltung der magnetischen Eigenschaften. Darüber hinaus steht die Qualifizierung neuartiger Schneidverfahren wie das Remote-Laserschneiden für die Fertigungsintegration im Mittelpunkt. Dafür stehen moderne Laserquellen jeder Art zur Verfügung.

MIKROBEARBEITEN

Die umfangreiche und moderne Ausstattung sowie das fundierte Know-how ermöglichen angewandte Forschung zur Mikro- und Feinbearbeitung mit Laserstrahlen für die Miniaturisierung von Funktionselementen im Maschinen-, Anlagen-, Fahrzeug- und Gerätebau sowie in der Bio- und Medizintechnik. Die Arbeitsgruppe erzeugt Strukturen im Mikrometerbereich an Polymeren, Metallen, Keramiken und biokompatiblen Werkstoffen. Innerhalb des Feldes Biosystemtechnik werden Technologieplattformen entwickelt, die es erlauben, in einem Lab-on-a-Chip-System mit integrierten Mikropumpen komplexe Zellkulturexperimente für medizinische Diagnostik und Substanztestung durchzuführen. Damit sind u. a. die im lebendigen Organismus ablaufenden Prozesse nachbildbar.

OBERFLÄCHFUNKTIONALISIERUNG

Die Arbeitsgruppe widmet sich der Herstellung von 2- und 3-dimensionalen Mikro- und Nanostrukturen auf Polymeren, Metallen, Keramiken und Beschichtungen. Mit neuen Methoden gelingt es, strukturierte Oberflächen zu erzeugen, die über makroskopische Bereiche hinweg Mikro- bzw. Nano-Merkmale aufweisen. Zusätzlich zur Topographie können auch die elektrischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften periodisch variiert werden. Diese strukturierten Oberflächen können u. a. in der Biotechnologie, in der Photonik und in der Tribologie eingesetzt werden. Darüber hinaus ist die Gruppe auch in der Lage, Systemkonzepte für die flächige Bearbeitung einschließlich der benötigten speziellen Bearbeitungsköpfe zu entwickeln.



**GRUPPENLEITER
HIGH-SPEED-LASERBEARBEITUNG
DR. JAN HAUPTMANN**

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



**GRUPPENLEITER
SCHNEIDEN
DIPL.-ING. PATRICK HERWIG**

Telefon +49 351 83391-3199
patrick.herwig@iws.fraunhofer.de



**GRUPPENLEITER
MIKROBEARBEITEN
DR. UDO KLOTZBACH**

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



**GRUPPENLEITER
OBERFLÄCHENFUNKTIONALISIERUNG
PROF. ANDRÉS-FABIÁN LASAGNI**

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



ABTEILUNGSLEITER

DR. ANDREAS WETZIG

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



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2014

- | | |
|--|----|
| 1. Optimale Bewegungssteuerung überlagerter Achssysteme | 72 |
| 2. Laser-Remoteschneiden von hochporösen Metallwerkstoffen | 74 |
| 3. Großflächiges Mikrostrukturieren transparenter Materialien | 76 |
| 4. Oberflächen schneller, präziser und kostengünstiger strukturieren | 78 |
| 5. Kamera-basiertes Laser-Remoteschneiden von Faserkunststoffverbunden | 80 |
| 6. Multilagenbasierte Mikrofluidik für die Kultivierung von Nierenzellen | 82 |
| 7. Optische Diode für Laseranwendungen im Multi-Kilowatt-Bereich | 84 |
| 8. Höhere Flexibilität mit Doppelkernfasern | 86 |



OPTIMALE BEWEGUNGSSTEUERUNG ÜBERLAGERTER ACHSSYSTEME

DIE AUFGABE

Beim 2D-Laserschneiden von Blechen bis ca. 2 mm Materialdicke wird die Bearbeitungsgeschwindigkeit bei konventionellen Laserschneidmaschinen durch die Dynamikgrenzwerte des Führungssystems bestimmt. Bei filigranen Konturabschnitten mit vielen Richtungsänderungen entlang der Kontur befinden sich die Achsen die meiste Zeit im Zustand des Beschleunigens und Verzögerns. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit bleibt dabei weit hinter den technologischen Grenzen zurück.

Um die mittlere Bearbeitungsgeschwindigkeit zu erhöhen, bedarf es einer Führungsmaschine mit höheren Dynamikgrenzwerten. Ein Lösungsweg, dies zu erreichen, besteht darin, überlagert zu einem Hauptachsensystem ein hochdynamisches Zusatzachsensystem mit kleinem Arbeitsfeld einzusetzen. Das Hauptachsensystem realisiert eine Relativbewegung zwischen Werkstück und Zusatzachsensystem. Überlagert dazu wird der Laserstrahl durch das Zusatzachsensystem hochdynamisch geführt.

Eine zentrale Aufgabe beim Einsatz überlagerter Achsstrukturen ist die Bewegungssteuerung. Zu berechnen ist der zeitliche Bewegungsverlauf des Laserstrahls entlang der Kontur mit zugehörigen Bewegungsanteilen von Haupt- und Zusatzachsen.

UNSERE LÖSUNG

Für die Achskopplungsmechanismen stehen am Fraunhofer IWS Dresden verschiedene Bahnplanungstools zur Verfügung. Ausgehend von CAD-Daten werden die technologischen Daten (Prozessparameter, Betriebsstrategien) eingebunden.

In Abhängigkeit vom Modell des Gesamtsystems, welches beispielsweise die Dynamikennwerte der Achsen beinhaltet, erfolgt anschließend die Berechnung der zeitlichen Bewegungsverläufe von Haupt- und Zusatzachsen. Zum einen können diese offline berechnet und das Ergebnis anschließend als Datenfile zur Ausführung an die Maschinensteuerung übergeben werden. Zum anderen können diese auch direkt auf der Steuerung online berechnet werden.

Die Möglichkeit der offline-Berechnung bietet den Vorteil, mit mehr Rechenzeit die Bewegungssteuerung optimal zu gestalten. Als Optimierungskriterium kann zusätzlich zu einer minimalen Bearbeitungszeit beispielsweise die Minimierung des Energieverbrauchs der Gesamtmaschine gewählt werden. Stets berücksichtigt werden bei der Optimierungsrechnung die Maximalwerte der Bewegungsgrößen Ruck, Beschleunigung und Geschwindigkeit von Haupt- und Zusatzachsensystem sowie deren Arbeitsfeldgrenzen.

Zur praktischen Umsetzung der Aufteilungsstrategien wurde ein Teststand entwickelt (Abb. 1). Als Zusatzachsensystem kommt der Hochdynamische Formcutter HDFC₆₀₆₀ mit einem Arbeitsfeld von 60 x 60 mm² zum Einsatz. Dieser ist an einem feststehenden Brückenträger montiert. Das Hauptachsensystem, ein Kreuztisch, bewegt das Werkstück. Durch die bei kleinem Arbeitsfeld realisierbare hohe Steifigkeit der Achsstruktur, Massenreduktion und den consequenten Einsatz von Lineardirektmotoren wird beim HDFC₆₀₆₀ gegenüber konventionellen Achssystemen ein bis zu 10-fach höherer Beschleunigungsanstieg realisiert. Die Maximalbeschleunigung des HDFC₆₀₆₀ beträgt 30 m/s².

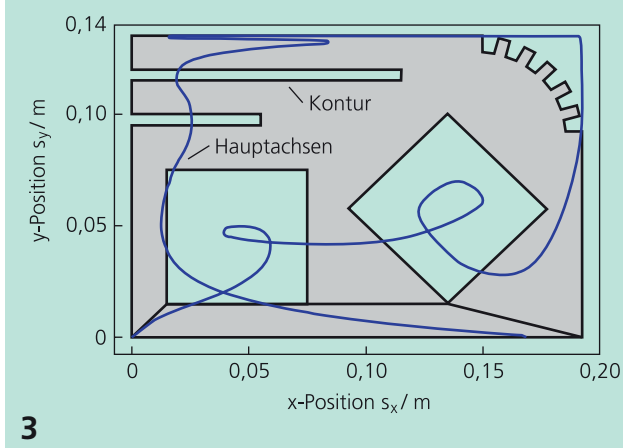


ERGEBNISSE

An der in Abbildung 3 dargestellten Beispielkontur wurden die Soll-Bewegungen von Haupt- und Zusatzachsen berechnet. Ziel der Optimierung war die Minimierung der Bearbeitungszeit sowie des Energieverbrauches der Gesamtmaschine.

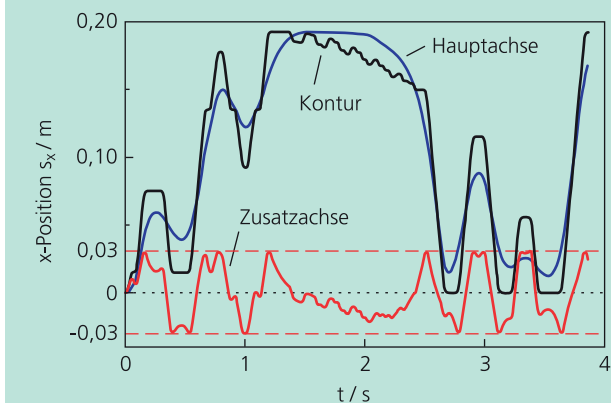
Das optimierte Ergebnis der Bahnaufteilung ist ebenfalls in Abbildung 3 sichtbar. Die blaue Kurve zeigt den durch die Hauptachsenbewegung entstehenden Verlauf der Position von Arbeitsfeldmittelpunkt des Zusatzachsensystems relativ zur Sollkontur. Die Zusatzachsen gleichen die Abweichungen gegenüber der Sollkontur aus.

Testkontur (grau) mit 2D-Bewegungsverlauf des Hauptachsensystems (blau)



Der energieoptimale Betrieb der Gesamtmaschine wird zum einen durch die minimale Bearbeitungszeit erreicht. Zum anderen werden die Freiheitsgrade bei der Bewegungsplanung dazu genutzt, die vom Bewegungsverlauf abhängigen Verlustenergien des Antriebssystems zu minimieren.

Zeitliche Bewegungsverläufe im Fall der Testkontur



- 1 Hochdynamischer Formcutter HDFC₆₀₆₀ in Kombination mit x-y-Tisch
- 2 Laserstrahlschneiden mit überlagertem Achssystem

Die zeitlichen Bewegungsverläufe des Laserstrahls relativ zur Kontur sowie der Haupt- und Zusatzachsen sind in Abbildung 4 dargestellt. Zur Minimierung der Bearbeitungszeit wird das Dynamikpotenzial der Achskonfiguration voll ausgenutzt. Die Beschleunigung am Bauteil erreicht Werte von 40 m/s^2 , der maximale Gesamtruck beträgt 1500 m/s^3 (Summe der Werte von Haupt- und Zusatzachse). Gegenüber dem Betrieb nur mit Hauptachsensystem kann beim Betrieb mit Achssystemüberlagerung die Bearbeitungszeit für die Beispielkontur um 45 Prozent verringert werden.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Frederik Klenke
 Telefon: +49 351 83391-3418
 frederik.klenke@iws.fraunhofer.de





LASER-REMOTESCHNEIDEN VON HOCHPORÖSEN METALLWERKSTOFFEN

DIE AUFGABE

Herstellungskosten, Sicherheit und Effizienz sind einige der Hauptaspekte, mit den sich die moderne Batterieforschung beschäftigt. Um einen höheren Volumenausnutzungsgrad zu erzielen, sollten neben den traditionellen Folien auch neuartige offenporige Metallschäume aus unterschiedlichen Materialien (Nickel, Inconell, Aluminium, Kupfer, Titan) mit voneinander abweichenden Porengrößen und Materialstärken zum Einsatz kommen.

Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Konfektionierung der Anoden und Kathoden. Derzeit werden hauptsächlich mechanische Trennverfahren (Stanzen, Schleifen, Fräsen) angewendet. Wegen des hohen Werkzeugverschleißes, des partiellen Porenverschlusses und Quetschung der Bauteilkanten sind diese ineffizient. Da die Losgröße immer weiter abnimmt, muss auch die Flexibilität hinsichtlich der Kontur steigen. Zusätzlich können diese Metallschäume mit sauerstoffreaktiven Material beschichtet bzw. befüllt sein, was eine Bearbeitung unter inerter Atmosphäre erfordert.

Das prozesssichere Trennen dieser Schäume ohne Beeinträchtigung der Funktionsweise durch Schädigung an der Schnittkante stellt eine Aufgabe dar, die durch konventionelles gasunterstütztes Laserschmelzschnneiden nicht gelöst werden kann. Aufgrund der hohen Porosität von über 90 Prozent wird kein geeigneter Druck zum Schmelzaustrieb erzeugt. An der Schnittkante haften sich Schmelzperlen an, die den keramischen Separator der Batterie beschädigen können und somit zum Versagen der gesamten Zelle führen.

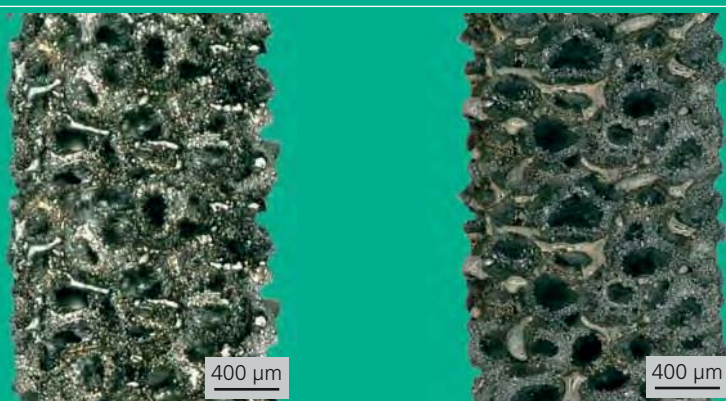
Neben der Schnittqualität beeinflusst die Schnittgeschwindigkeit entscheidend die Wirtschaftlichkeit des Prozesses. Beim konturnahen Trennprozess mittels gasunterstütztem Laserschmelzschnneiden ist die effektive Schneidgeschwindigkeit aufgrund des Gewichts der Prozessköpfe und der damit verbundenen Massenträgheit begrenzt. Gesucht werden neue Ansätze zur Lösung dieser Aufgabe.

UNSERE LÖSUNG

Deutliche Verbesserungen hinsichtlich der Qualität bei der Bearbeitung von offenporigen Metallschäumen konnten am Fraunhofer IWS Dresden durch den Einsatz von hochdynamischen Strahlableitungssystemen in Verbindung mit hochbrillanten Festkörperstrahlquellen erreicht werden. Bei dem sogenannten Laser-Remoteschnneiden wird der Laserstrahl über zwei schnell bewegte Spiegel abgelenkt und mit Hilfe eines F-Theta Objektivs auf die Materialoberfläche fokussiert. Aufgrund des geringen Gewichts der mittels Galvanometermotoren bewegten Ablenkspiegel können sehr hohe Bahngeschwindigkeiten von über 10 m/s und Beschleunigungen von mehreren 10 g erreicht werden. Trotz dieser hohen Geschwindigkeiten bleibt die Strahlbewegung sehr präzise.

Die geringe Interaktionszeit in Zusammenspiel mit extrem hohen Intensitäten führt zu einem mehrheitlichen Verdampfen des Schnittvolumens. Dadurch ist der Wärmeübertrag, welcher sich in thermischer Schädigung der Schnittkante äußert, deutlich geringer als beim klassischen gasunterstützten Laserschneiden.

2



ERGEBNISSE

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass mit Hilfe des Laser-Remoteschneidens offenporige Metallschäume prozesssicher getrennt werden können. Im Vergleich zum konventionellen Laserschneiden beträgt die dabei auftretende thermische Randschädigung weniger als 50 µm. Für jede Materialzusammensetzung konnte ein sauberer Trennschnitt erzeugt werden.

Durch den Einsatz von hochbrillanten Festkörperlasern im kW-Bereich betragen die Abtragsraten in Abhängigkeit vom Material zwischen 20 µm und 50 µm. Daraus folgt, dass Materialstärken im Millimeterbereich mehrere Überfahrten mit dem Laserstrahl benötigen, um einen Trennschnitt zu vollziehen. Aufgrund der hohen Ablenkgeschwindigkeiten der Scannersysteme verfügt das Laser-Remoteschneiden dennoch über eine Schneidgeschwindigkeit mit dem Faktor 3 gegenüber konventionellen Achsmaschinen.

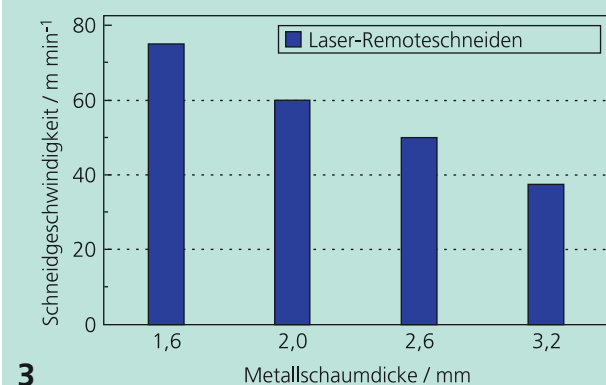
Abbildung 2 zeigt die Ansicht der Schnittkanten eines 2,6 mm dicken Metallschaums aus Inconel, die mittels Laser-

Remoteschneidens (links) und mittels konventionellem gasunterstützten Laserschmelzschneiden (rechts) getrennt wurden. Dabei ist zu erkennen, dass beim gasunterstützten Laserschmelzschneiden große Schmelzagglomerate an der Schnittkante anlagern. Demgegenüber sind an dem mittels Laser-Remoteschneiden ausgeführten Trennschnitt keine Schmelzperlen an der Schnittkante zu erkennen. In Abbildung 3 ist die Schneidgeschwindigkeit in Bezug auf die Metallschaumdicke dargestellt.

Im Vergleich zu anderen Fertigungsverfahren erfüllt somit das Laser-Remoteschneiden die von der Batterieherstellung geforderten Ansprüche hinsichtlich Qualität und Produktivität.

- 1 *Inconellschaum im Ausgangszustand, 450 µm Porengröße*
- 2 *Inconellschaum*
links: Laser-Remoteschnitt,
rechts: Laserschmelzschnitt

Vergleich der erreichbaren Schnittgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Materialstärke



3

KONTAKT

M.Eng. Robert Baumann
 Telefon: +49 351 83391-3423
 robert.baumann@iws.fraunhofer.de





GROSSFLÄCHIGES MIKROSTRUKTURIEREN TRANSPARENTER MATERIALIEN

DIE AUFGABE

Die Integration sich ergänzender Funktionalitäten in einem Bauteil ist nicht nur aus Anwendersicht interessant, sondern auch eine spannende Herausforderung für Designer und Hersteller. Im Bereich der Funktionsleuchten gibt es dafür unterschiedlichste Konzepte. Neben der reinen Bereitstellung passgenauen gerichteten oder weichen Lichtes der gewünschten Farbe und Helligkeit müssen Anforderungen an mechanische Stabilität, Energieeffizienz, Wartungsfreiheit und nicht zuletzt ansprechendes Design erfüllt werden.

Eine Idee zur Kombination der Funktionalitäten »punktuelle sowie flächige Beleuchtung« und »sichere Gepäckaufbewahrung« ist die integrative Gepäckablage in Zügen. Das Konzept sieht eine transparente, selbstleuchtende und großflächige Gepäckablage vor, die dem Reisenden individuell einstellbare Beleuchtungsvarianten anbietet. Für die Fertigung beinhaltet diese spannende Idee gleich mehrere Herausforderungen. So musste ein Weg gefunden werden, sowohl LED-Spot- als auch OLED-Flächenbeleuchtung zu integrieren, einzeln anzusteuern und den dafür benötigten Strom mittels unsichtbarer Leitbahnen zu führen, damit der Durchblick auf das Gepäck unbeeinträchtigt bleibt.

Ein Lösungsansatz dafür findet sich in der Verwendung von Glasscheiben mit einer Beschichtung aus transparenten leitfähigen Oxiden (TCO – transparent conductive oxide). Die Größe dieser selbstleuchtenden Gepäckablagen beträgt 1 m x 0,4 m. Die Aufgabe besteht darin, die beschichteten Glasscheiben so zu strukturieren, dass eine sichere Stromversorgung aller elektrischen Komponenten ohne parasitäre Kriechströme gewährleistet ist.

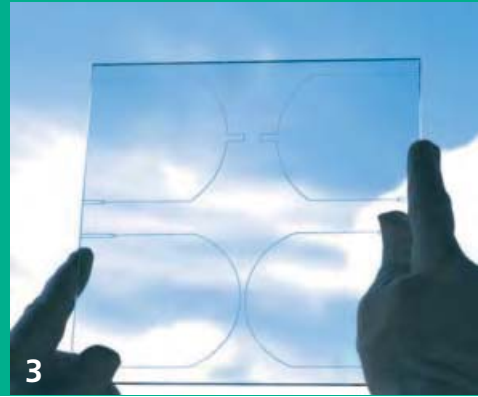
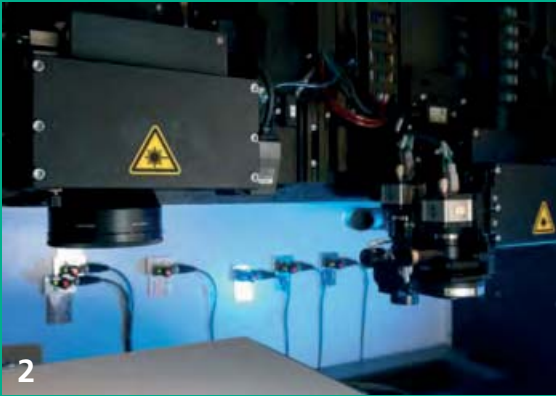
Die elektrische Trennung der TCO-Schicht sollte zudem nichtbar und für das Glassubstrat schadungsfrei erfolgen. Da für eine Gepäckablage zwei Glasscheiben in einem Heißprägeprozess mittels einer Polyurethanfolie verbunden werden, mußte auch diese Folie in derselben Größe entsprechend dem Beleuchtungslayout strukturiert werden.

UNSERE LÖSUNG

Die selektive Strukturierung einer transparenten Schicht auf transparentem Substrat ist für sich bereits herausfordernd. Als Ansatz wurde die Bearbeitung mit kurzgepulster UV- und ultrakurzgepulster IR-Laserstrahlung gewählt. Beides gewährleistet eine sehr gute Tiefensteuerung des Abtrags. Zudem ist die Absorption der TCO-Schicht sowohl im UV als auch im IR prozessbegünstigend höher als die des Grundmaterials.

Zusätzlich musste ein Weg gefunden werden, dünnste Mikrostrukturen auf sehr großen Flächen mit höchster Maßhaltigkeit herzustellen. Typische Bearbeitungsfeldgrößen von Lasermikrostrukturierungsanlagen liegen bei ca. 100 x 100 mm². Das Aneinandersetzen von Feldern wird maßgeblich durch kissen- oder tonnenförmige Verzerrungen beeinträchtigt: Feldübergreifende Konturen werden dann unterbrochen, die Funktionalität gestört.

Um dieses Problem zu beheben, wurde eine neue Mikrostrukturierungsanlage mit hochgenauen Achssystemen und enorm präziser Scanfeldkorrektur eingesetzt (Abb. 2).



ERGEBNISSE

Die rein laserseitige Machbarkeit wurde zunächst an kleinen Substraten aufgezeigt. Mit kurzgepulstem Nanosekunden-Laser bei 355 nm Wellenlänge wurden elektrisch voneinander entkoppelte TCO-Flächen erzeugt, die Strom zu einer LED führen konnten (Abb. 3).

Die Grundsatzuntersuchungen mit ultrakurzgepulstem Pikosekunden-Laser bei 1064 nm Wellenlänge verliefen noch erfolgreicher. Durch geschickte Wahl der Laserparameter wurde die TCO-Schicht entlang der vorgegebenen Linien vollständig und ohne jede Beschädigung des Glassubstrats entfernt. Für die Übertragung der Strukturierungstechnologie auf die Größe des endgültigen Bauteils von 1 m x 0,4 m wurde deshalb die Ultrakurzpulsvvariante gewählt.

Die Gesamtkontur, die die elektrisch separate Ansteuerung von insgesamt 6 Flächen-OLED und 2 Spot-LED umfaßt, wurde in 40 Segmente zu 100 x 100 mm² unterteilt. Nach Einlesen der exakten Position der Glasscheibe wurden die einzelnen Konturabschnitte auf das beschichtete Glas übertragen und zusammengesetzt. Auf diese Weise wurde eine Hälfte der gesamten Scheibe strukturiert. Danach erfolgte aus Gründen des inneren Anlagenaufbaus eine 180 °-Drehung mit Neuausrichtung und anschließender Fertigstellung der restlichen Segmente.

Die Bearbeitung der Polyurethan-Klebefolie mit Aussparungen für Flächen- und Spotleuchten wurde analog durchgeführt. Als zusätzlicher Blickfang wurde die TCO-Schicht zentral in Form des Firmenlogos des Partners aufgerauht.

Dass trotz der geringen Laserspurbreite von nur ca. 40 µm das durchgehende Trennen der TCO-Schicht über die einzelnen Kontursegmente hinweg erfolgreich ausgeführt werden konnte, wurde in den nachfolgenden mikroskopischen Untersuchungen dokumentiert.

Die Vereinbarkeit der herkömmlich als Kontrahenten auftretenden Anforderungen Mikrostrukturierung und Maßhaltigkeit auf sehr großen Flächen konnte an diesem Beispiel eindrucksvoll gezeigt werden. Prozess- und systemtechnische Sachkenntnis führten zur Erzeugung großflächiger, nahezu unsichtbarer Funktionsstrukturen in einer transparenten Beschichtung auf transparentem Substrat.

- 1 *Großflächig lasermikrostrukturiertes TCO-beschichtetes Glassubstrat*
- 2 *Mikrostrukturierungsanlage mit zwei Scanköpfen zur Bearbeitung großer Bauteile*
- 3 *UV-laserstrukturierte Testflächen zur Funktionsprüfung*

KONTAKT

Dipl.-Ing.(FH) Thomas Kuntze
 Telefon: +49 351 83391-3227
 thomas.kuntze@iws.fraunhofer.de





OBERFLÄCHEN SCHNELLER, PRÄZISER UND KOSTENGÜNSTIGER STRUKTURIEREN

DIE AUFGABE

Durch Mikro- und Nanostrukturen können anwendungsspezifische mechanische, biologische oder auch optische Oberflächenfunktionen vorteilhaft verbessert werden. Prominente Beispiele aus der Natur sind der Mottenaugeneffekt, der eine Entspiegelung von Oberflächen bewirkt oder der Haifischhauteffekt, der zu vorteilhaften tribologischen Eigenschaften führt.

Die Herausforderung, derartige Strukturen zu imitieren, wird mit unterschiedlichen Technologien verfolgt. Biomimetische, von der Natur inspirierte, Oberflächen lassen sich jedoch im Alltag fast nicht wiederfinden. So konnte zwar die Funktionalität von Oberflächenstrukturierungen in vielen Beispielen nachgewiesen werden, die großflächige Generierung von Mikro- und Nanostrukturen durch konventionelle Techniken ist jedoch bislang aufwendig, nicht auf 3D-Bauteilgeometrien übertragbar oder die erzielbaren Strukturgrößen und Strukturierungsgeschwindigkeiten entsprechen nicht den industriellen Anforderungen.

UNSERE LÖSUNG

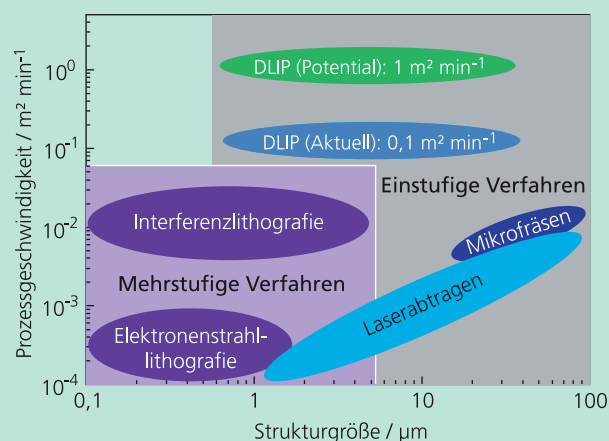
Signifikant kürzere Prozesszeiten bei höheren Auflösungen und geringeren Anlage- und Produktionskosten können durch die Verwendung der direkten Laserinterferenzstrukturierung (DLIP: Direct Laser Interference Patterning) erzielt werden (siehe Abb. 2).

Bei der DLIP-Technologie wird ein von einer Laserquelle emittierter kohärenter Laserstrahl in zwei oder mehr Laserstrahlen aufgespalten. Anschließend werden diese Strahlen auf der Werkstückoberfläche wieder überlagert.

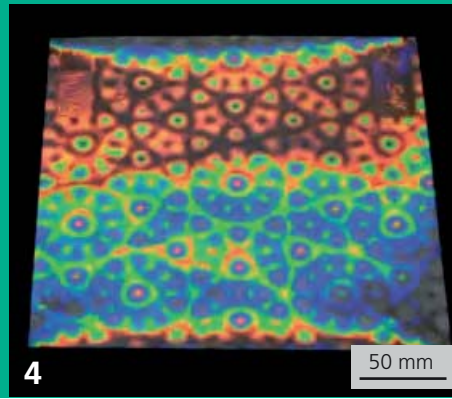
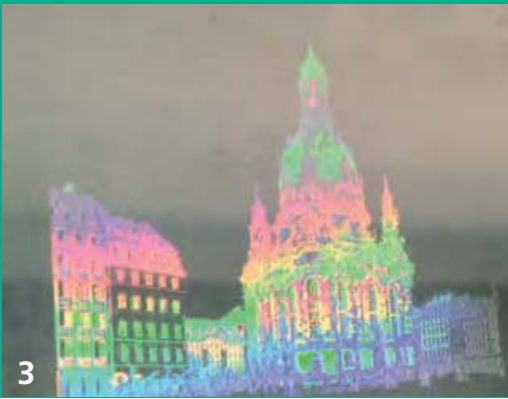
Durch die Überlagerung kommt es zu einer periodischen Modulation der Laserintensität und der Strukturierung der Bauteiloberfläche (siehe Abb. 3). Mit einem Laserpuls können Flächen mit Durchmessern von wenigen Mikrometern bis zu einigen Zentimetern mit periodischen Mikro- oder Nanostrukturen versehen werden.

Am Fraunhofer IWS Dresden war die Umsetzung der DLIP-Technologie hin zu industriell nutzbaren Bearbeitungsoptiken und Anlagen ein wesentliches Forschungsziel der letzten Jahre. Zentrale Schwerpunkte hierbei waren die Miniaturisierung und Optimierung der optischen Komponenten zur Aufteilung und Überlagerung des Laserstrahles und die technische Umsetzung in einem kompakten Bearbeitungskopf. Mit der Integration des DLIP-Kopfes in diverse Bearbeitungsanlagen (siehe z. B. Abb. 1) wurde der Schritt hin zur flexiblen und wirtschaftlichen Herstellung von periodischen Strukturen im Submikro- und Mikrobereich vollzogen.

Vergleich der Prozessgeschwindigkeiten verschiedener Strukturierungstechnologien



2



ERGEBNISSE

Durch die Arbeiten des Fraunhofer IWS Dresden ist es nun möglich, anwendungsspezifische Bearbeitungsoptiken und komplette DLIP-Bearbeitungsanlagen inklusive der entsprechenden Laserstrahlquellen anzubieten. Diese Anlagen haben einen hohen Automatisierungsgrad (siehe Abb. 5) und sind intuitiv bedienbar. Eine Anlage entsprechend der in Abbildung 1 dargestellten bietet beispielsweise:

- kompaktes Design (LBH = 1 x 1 x 2,5 m³),
- integrierte Laserstrahlquellen (ps- oder ns-Laser),
- variable Strukturgröße von 0,5 bis 5 µm,
- Softwaresteuerung zur Kontrolle der Strukturgröße,
- Strukturierungsgeschwindigkeiten bis 1 m²/min,
- Probengrößen bis 500 x 500 mm² (siehe Abb. 4),
- Zertifizierung als Laserklasse 1.

Software-Tool zur DLIP-Anlagensteuerung und Umwandlung von Bitmaps



Auf dieser Basis können verschiedenste Materialien wie Metalle, Keramiken, Polymere oder auch Beschichtungen in einem Prozessschritt mit Mikro- oder Nanostrukturen versehen werden.

Mit der Laseranlage DLIP-µFab bietet das IWS Dresden ein sehr leistungsfähiges System zum Laserstrukturieren. Dieses kann durch seinen modularen Aufbau bestmöglich an diverse Anwendungen angepasst werden. Es können sowohl unterschiedliche Laserquellen implementiert als auch verschiedene CNC-Achssysteme oder hochpräzise Granitaufbauten verwendet werden. Damit sind selbst anspruchsvolle Aufgaben wie hochaufgelöste Strukturierungen < 500 nm und Bearbeitungsgeschwindigkeiten von 1 m²/min möglich.

Darüber hinaus ist eine Adaption von DLIP-Optiken an eine Rolle-zu-Rolle-Bearbeitungsanlage, das Strukturieren von 3D-Bauteilen sowie die Bearbeitung von Flächen größer 1 m² wirtschaftlich möglich.

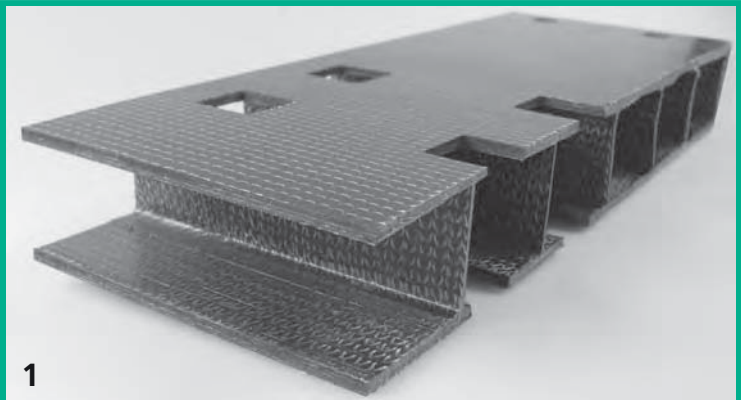
- 1 DLIP µFab-Bearbeitungsanlage mit DLIP-Bearbeitungsoptik (blau) im Zentrum
- 3 DLIP-strukturierte Stahlprobe
- 4 Strukturierte Nickelfolie mit großflächigem Hologramm

Die Systeme können für Wellenlängen im IR-, sichtbaren oder UV-Bereich ausgelegt werden. Dafür entwickelt und erprobt das IWS Dresden neuartige Strahlführungskonzepte, mit denen Strukturgrößen bzw. Interferenzperioden automatisiert variiert werden können.

KONTAKT

Dr. Teja Roch
 Telefon: +49 351 83391-3083
 teja.roch@iws.fraunhofer.de





KAMERA-BASIERTES LASER-REMOTESCHNEIDEN VON FASERKUNSTSTOFFVERBUNDEN

DIE AUFGABE

Ausgehend von der Luft- und Raumfahrtindustrie haben sich Hochleistungs-Faserkunststoffverbunde (FKV) in vielen Anwendungsbereichen etablieren können. Optimierte Fadenablagemöglichkeiten wie Mehrlagengestricke oder Tailored Fiber Placement Strukturen (TFP) ermöglichen den effizienten Einsatz von Verstärkungsfasern aus Glas- oder Kohlenstoff. Neben der belastungsgerechten Faserorientierung erreichen diese textilen Strukturen einen sehr hohen Faserausnutzungsgrad und tragen zur Verschnittoptimierung und damit Ressourcenschonung bei.

Die hochvariable Fadenablage ermöglicht komplexe Bauteilgeometrien, die aufwendige Prozesse zur Nach- bzw. Endbearbeitung nach sich ziehen. Herkömmliche Verfahren wie Wasserstrahlschneiden und Fräsen sind jedoch verschleißbehaftet. Darüber hinaus führen die hohen Festigkeiten der Werkstoffe oftmals zu großen Bearbeitungskräften bei verringerten Vorschubgeschwindigkeiten. Die Verbesserung und Optimierung dieser Endbearbeitungsschritte sind die größten Herausforderungen, die unter anderem durch den Einsatz von Lasertechnik erfüllt werden können.

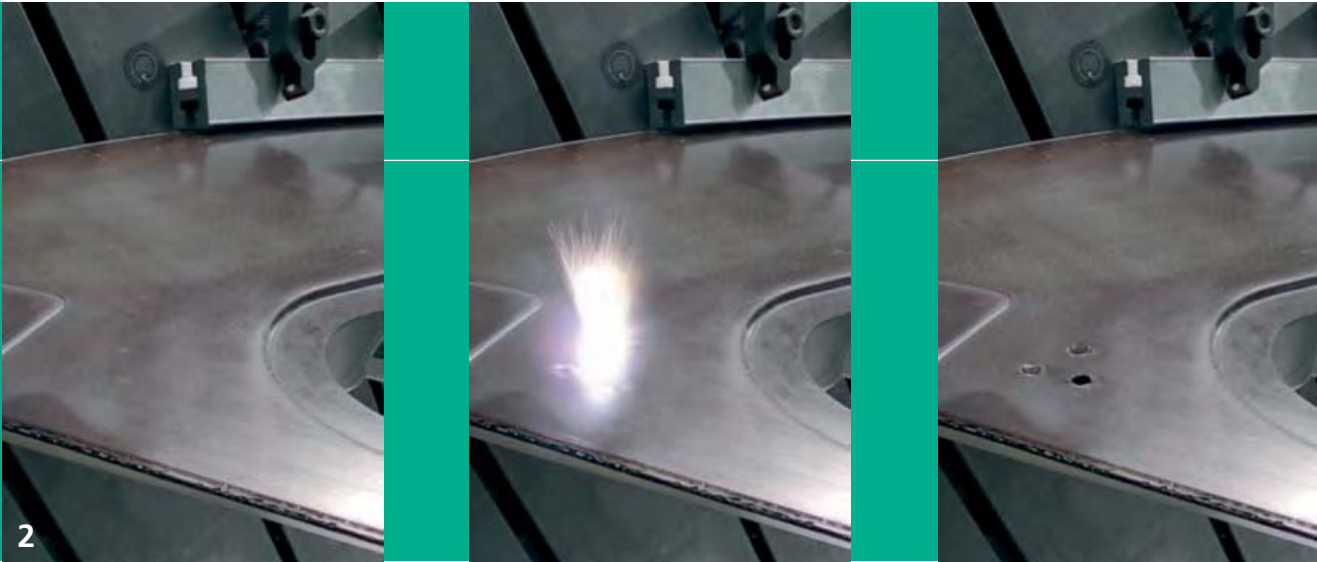
Bedingung für eine reproduzierbare Bearbeitung ist allerdings die textiltgerechte Positionierung der Bauteile vor dem Laserschnitt. Um die thermische Schädigung im Werkstoffverbund zu minimieren, ist neben der Verwendung von brillanten Laserstrahlquellen und sehr hohen Vorschubgeschwindigkeiten die präzise Positionierung des Schnittes unabdingbar.

UNSERE LÖSUNG

Für die endkonturnahe Bearbeitung von FKV wurde am Fraunhofer IWS Dresden ein Bearbeitungssystem zum Laser-Remoteschneiden mit Kamera-Unterstützung entwickelt (remocut[®]VIS). Bei der Remotebearbeitung wird ein gut fokussierter Laserstrahl mit Hilfe schnell bewegter kippbarer Spiegel entlang der zu schneidenden Kontur auf der Bauteiloberfläche bewegt. Aufgrund der hohen Dynamik können kurze Wechselwirkungszeiten zwischen Laserspot und Bauteil realisiert werden. Dadurch wird die thermische Zersetzung des Matrixwerkstoffes an der Schnittfuge auf ein Minimum reduziert und die trennende Bearbeitung von FKV in guter Qualität und Produktivität ermöglicht.

Das neu entwickelte Optoelektronik-Modul remocut[®]VIS ergänzt die bisher entwickelte Systemtechnik zur Remotebearbeitung. Durch eine koaxial zum Laserstrahl angeordnete hochauflösende Kamera erfolgt die Bauteilerkennung innerhalb des Scanner-Arbeitsraumes mit hoher Genauigkeit. Hiermit ist es möglich, Faserorientierungen, Roving- oder Fadenverläufe sowie Bauteilendkonturen zu erkennen und die Schneidkonturen entsprechend auszurichten. So können Fertigungstoleranzen der vorgelagerten Prozesse erfasst und die Schnittkontur entsprechend angepasst werden.

Des Weiteren bietet die remocut[®]VIS-Umgebung die Möglichkeit, Schneidbahnen anhand der aufgenommenen Bilder zu generieren.



ERGEBNISSE

Die textilgerechte Positionierung des Schnittes ermöglicht neben der Reduzierung der Wechselwirkungszeit zwischen Laserstrahl und Werkstoff verbesserte Abtrags- und Trennergebnisse. Die mittels remocut[®]VIS-Technologie erzeugten Schneidkonturen gestatten einen werkstoffgerechten Schnitt und in Verbindung mit dem Laser-Remoteschneiden eine minimale thermische Schädigung im Material.

Sofern großvolumige, konsolidierte Bauteile bearbeitet werden sollen, kann das Remotesystem mit Industrierobotern gekoppelt werden. Das Kameramodul ermöglicht dabei das Einmessen der Bearbeitungspositionen (Abb. 2).

Mit Hilfe der remocut[®]VIS-Technologie ist es möglich, die Konturen des einzulegenden Sensorelements zu digitalisieren, um aus diesen Daten Schneidkonturen zu generieren. In Abbildung 3b sind die Trennschnitte für den Polypropylen-Strickfaden (gelb) und das Glasfaserroving (blau) markiert. Die Festlegung der Prozessparameter erfolgt dabei in der entwickelten CAD/CAM-Software entsprechend der vorgegebenen Abtragsstrategie. Im Anschluss können sowohl die Strickfäden als auch die Verstärkungsrovings mit angepassten Schneidparametern getrennt werden (Abb. 3c).

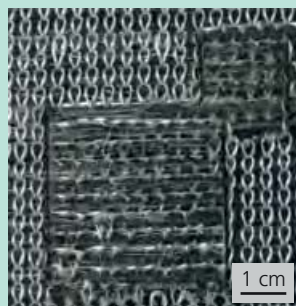
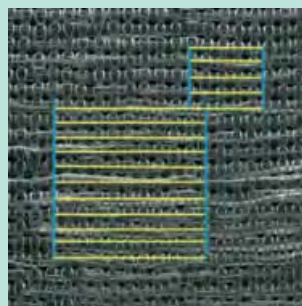
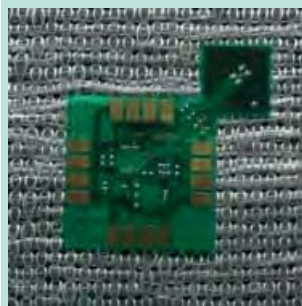
- 1 *Spacer Fabric, basierend auf Mehrlagengestricken*
- 2 *Technologie-Demonstration an einer Hubschraubertür*

Twintex[®] Mehrlagengestrick zur Integration von Sensorkomponenten

a) Konturerkennung des einzulegenden Sensorelementes

b) generierte leistungsvariable Laserschneidkontur

c) ausgebildete Tasche



3

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 639 der TU Dresden wurden weitere Einsatzmöglichkeiten der Technologie überprüft. So wurden an Mehrlagengestricken basierend auf einem Glasfaser-Polypropylen-Roving Schneiduntersuchungen durchgeführt, um Öffnungen in konsolidierte Bauteile einzubringen und Randbeschnitte vorzunehmen.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Andreas Fürst
 Telefon: +49 351 83391-3544
 andreas.fuerst@iws.fraunhofer.de



MULTILAGENBASIERTE MIKROFLUIDIK FÜR DIE KULTIVIERUNG VON NIERENZELLEN

DIE AUFGABE

Die Zahl der nierenkranken Patienten in Deutschland steigt aufgrund des demographischen Wandels und der damit verbundenen höheren Insuffizienzrate bei über 60-Jährigen ständig an. Damit einher geht auch ein Anstieg der Zahl von dialysepflichtigen Patienten mit Nierenversagen. Die hohe Zahl an Patienten mit Niereninsuffizienz zeigt, dass ein zunehmender Bedarf an verbesserten Dialyseverfahren und Systemen zur Unterstützung der Restnierenfunktion besteht.

Weder Systeme, die die bestehende Restnierenfunktion unterstützen können, noch implantierbare Systeme, die die Nierenfunktion teilweise oder vollständig ersetzen können, sind derzeit verfügbar. Somit ist die Dialyse mit der einhergehenden Verringerung der Lebensqualität derzeit die einzige Option. Für die rund 6000 Wartelistenpatienten ohne Spenderorgan wären künstliche Ersatzorgane oder technische Nierenersatzgeräte eine vielversprechende Alternative.

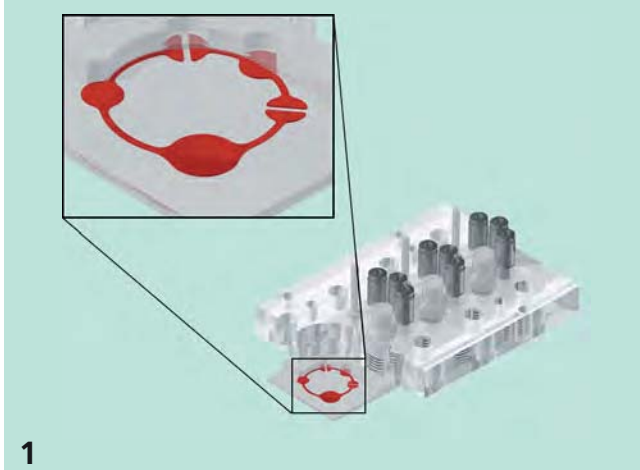
UNSERE LÖSUNG

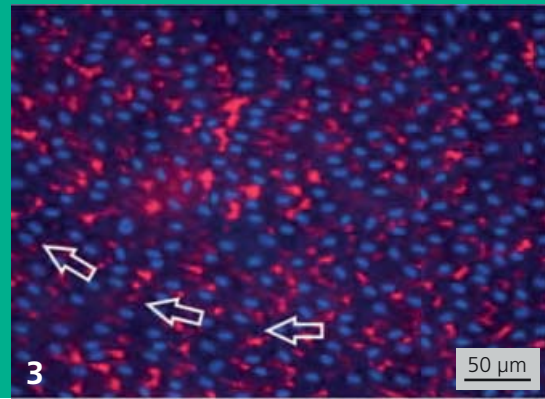
Die Entwicklung moderner mikrofluidischer Organersatzsysteme bietet eine bisher ungenutzte Perspektive. Auf Basis dieser Systeme ist die Etablierung mehrschichtiger, mit Flüssigkeit durchströmter Organoide, also funktionaler miniaturisierter Ersatzorgane, in Dimensionen einer Scheckkarte möglich. Freigestaltbare, kapillarartige Strukturen können über Membranen verbunden werden. Dadurch entsteht ein selektiver Stoffaustausch, ähnlich wie im menschlichen Körper.

Solche mikrofluidischen Systeme bieten weiterhin die Möglichkeit, komplexe zelluläre Interaktionen zu studieren und zu modulieren, sowie die Vorgaben für eine optimale zelluläre Interaktion in einem mehrdimensionalen System zu entwickeln.

Die schnelle, flexible und preiswerte Herstellung von Lab-on-a-Chip-Systemen erfolgt am Fraunhofer IWS Dresden mit Hilfe einer eigens entwickelten geschlossenen Technologiekette für den Multilagenaufbau lasermikrostrukturierter Folien. Dazu wird im ersten Schritt das zu fertigende Mikrofluidiksystem konstruktiv in einzelne Lagen zerlegt. Diese werden später jeweils durch eine separate Folie oder Platte realisiert.

Mikrofluidiksystem im Multilagen-Design





Ausgehend von den funktionellen Randbedingungen erfolgt in einem zweiten Schritt für jede Lage die Auswahl der entsprechenden Folien bzw. Platten mit den notwendigen Eigenschaften (hydrophil, hydrophob, transparent, permeabel, porös, ...). Im dritten Schritt werden die Folien und Platten mittels Lasermikromaterialbearbeitung beidseitig strukturiert und funktionalisiert. Das Zusammenfügen der einzelnen Folien und Platten zu einem Multilagensystem erfolgt im vierten und damit letzten Schritt wahlweise durch Verkleben, Plasmapbonden (siehe Seite 118/119) oder thermisches Bonden.

ERGEBNISSE

Für die Nachstellung der kapillaren Flussverhältnisse der Niere wurde am Fraunhofer IWS Dresden beispielhaft ein Multilagen-Lab-on-a-Chip-System entwickelt. Es verfügt über 4 parallele Kreisläufe mit kleinsten Volumina. Durch das geringe Volumen der Kanalstruktur von nur 40 µl können die Anzahl der Zellen im mikrofluidischen System minimiert und somit die Kosten der Versuche gering gehalten werden.

Über eine komplette Endothelialisierung, also das Aufwachsen einer geschlossenen Endothelzellschicht an den Innenwänden des Systems konnte eine Nierenkapillare nachgestellt werden. Dafür wurden primäre menschliche Endothelzellen aus der Nabelschnur (HUVEC) verwendet. Durch die Perfusion wurde eine ebensolche konfluente Ausrichtung der Zellen erreicht, wie sie an der Innenwand von menschlichen Endothelien zu beobachten ist.

Mit dem entwickelten System ist es möglich, die Interaktion von Nierenendothelzellen mit Leukozyten oder Thrombozyten zu untersuchen und so die Ursache für die Entstehung verschiedener degenerativer Nierenerkrankungen zu verstehen und zu behandeln.

- 2 *Mit HUVEC bewachsener Kanal einen Tag nach Beginn der Perfusion im Durchlicht und Vitalfärbung der Zellen durch einen roten Fluoreszenzfarbstoff (Ausschnitt)*
- 3 *Doppelt fluoreszenzgefärbte Zellen unter Perfusion (blau: Zellkerne; rot: Oberflächenmarker der Endothelzellen); die weißen Pfeile zeigen die gekrümmte Fließrichtung und die Ausrichtung der Zellen*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Florian Schmieder
 Telefon: +49 351 83391-3520
florian.schmieder@iws.fraunhofer.de





OPTISCHE DIODE FÜR LASERANWENDUNGEN IM MULTI-KILOWATT-BEREICH

DIE AUFGABE

Das Laserschneiden und –schweißen ermöglicht eine flexible und kosteneffiziente Fertigung metallischer Baugruppen. Die Verarbeitung des Werkstoffes Kupfer gewinnt im Rahmen der stetig steigenden Nachfrage nach elektrischen Maschinen an Bedeutung. Kupfer besitzt für die zum Schweißen und Schneiden geeigneten CO₂- und Festkörperlaser eine Reflexion von über 95 Prozent. Neben der erschwerten Energieeinkopplung beinhaltet dies ein Gefahrenpotenzial für den Laser.

Für den CO₂-Laser existiert eine Standardlösung, um dieses Gefahrenpotenzial zu minimieren. Moderne Festkörperlaser sind aufgrund von Wellenlänge, Bauart und Wirkungsgrad besser zur Bearbeitung hochreflektiver Werkstoffe geeignet. Ein zum CO₂-Laser vergleichbarer Schutzmechanismus existiert jedoch nicht. Kommerziell verfügbare Lösungen beruhen auf der Messung der Rückreflexion und gegebenenfalls auf einer Zwangsabschaltung des Lasers, was einen unerwünschten Prozessabbruch zur Folge hat. Beschädigungen am Faserenden (Abb.1) bis hin zur vollständigen Zerstörung können mit dieser Methode ebenfalls nicht verhindert werden. Die Aufgabe besteht deshalb darin, einen Schutzmechanismus zu entwickeln, ähnlich wie bei der Bearbeitung mit CO₂-Lasern.

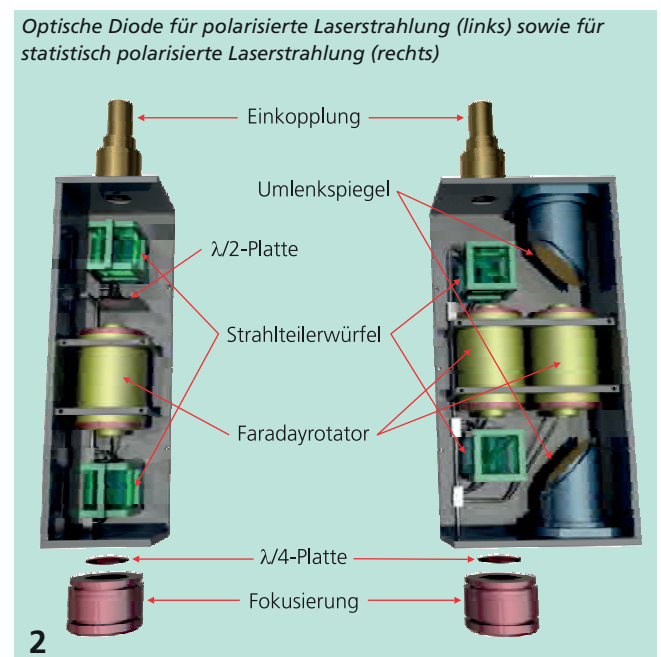
UNSERE LÖSUNG

Die Nutzung der Polarisation ist die derzeit einzige bekannte Möglichkeit eines kontinuierlichen Schutzes gegenüber rückreflektierter Strahlung. Die Übertragung auf Scheiben- und Faserlaser ist durch die statistische Polarisation der Strahlquellen und die Faserführung nicht ohne weiteres möglich. Um eine Schädigung des Laserresonators und der Arbeitsfaser zu verhindern, ist eine sichere Sperrwirkung nur zwischen Faser

und Prozesszone, respektive in der Bearbeitungsoptik, sinnvoll.

Hierfür wurden am Fraunhofer IWS entsprechende Module zur Integration in die Bearbeitungsoptik bzw. komplette Bearbeitungsköpfe entwickelt. Mittels nichtlinearer optischer Verzögerungselemente wie Faradayrotatoren wird zwischen einfallendem und reflektiertem Strahl eine Verzögerung von $\lambda/2$ erzeugt und mittels eines polarisationsbasierten Strahlteilers die rückreflektierte Strahlung in eine Strahlfalle ausgekoppelt.

Die statistische Polarisation aktueller Strahlquellen erfordert eine Teilung, Polarisationsdrehung und Vereinigung des Strahlenganges. Die anschließende Zirkularpolarisierung des Strahles stellt wiederum die Strahleigenschaften einer konventionellen Bearbeitungsoptik her.

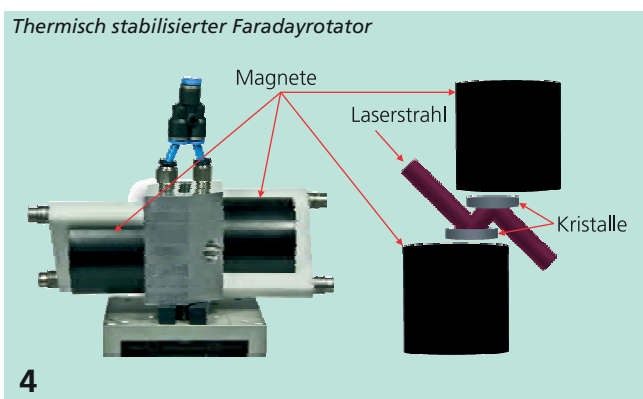




Die Umsetzung dieses Konzeptes erfordert angepasste optische Elemente. Sie wurden nach Vorgabe des Fraunhofer IWS durch Zulieferer entwickelt und sind somit kommerziell verfügbar. Faradayrotatoren, Verzögerungsplatten und Strahlteiler werden genutzt, um anwendungsspezifische Optiken aufzubauen (Abb. 2). Neuartige mechanische Konzepte erlauben im Fall statistisch polarisierter Laserstrahlung die exakte Justage der einzelnen Teilstrahlen zueinander, so dass für beugungsbegrenzte Strahlung im fokussierten Strahl keine Abweichungen der Strahlagen zueinander feststellbar ist.

Für die Anwendung beugungsbegrenzter Laser und bei Leistungen größer einem Kilowatt ist das kommerzielle Faradayrotator-konzept nur bedingt geeignet. Materialbedingte Absorption des Faradaykristalls führt zur Erwärmung, ungewollter Fokusslageverschiebung und Instabilität des Laserprozesses. Für diesen Fall wurde ein völlig neuartiges Faradayrotator-konzept entwickelt und erprobt (Abb. 4).

Durch geometrische Änderungen des Faradaykristalls und eine einseitig aktive Kühlung konnte eine nahezu lineare Temperaturverteilung im Kristall erzeugt werden. Im Zuge eines Doppeldurchganges unterschiedlicher Ausbreitungsrichtungen kann die thermisch induzierte Fokusslagenänderung kompensiert werden. Dieser Faradayrotator, verbaut in optischen Dioden, ermöglicht den Einsatz in Verbindung mit beugungsbegrenzten Faserlasern mehrerer Kilowatt Laserleistung.



ERGEBNISSE

Die Bearbeitungsköpfe (Abb. 2) wurden umfangreichen Belastungstest unterzogen. Hierzu zählen Dauerbelastungen mit 4 Kilowatt Laserleistung mit einem Kupferspiegel als idealisierte Prozesszone. Damit beträgt die Belastung einzelner optischer Elemente effektiv 8 Kilowatt. Die Absorption der Laserleistung konnte an Strahlfallen messtechnisch ermittelt werden. Mittels Strahl Diagnosen wurde die Einhaltung der Strahleigenschaften nachgewiesen. Alle Optiken besitzen eine Dämpfung von 20 dB.

Im Feldversuch am Werkstoff Kupfer konnte mit dieser »optischen Diode« keine Sicherheitsabschaltung des Lasers hervorgerufen werden, wohingegen dies ohne Diode bereits bei geringer Abweichung der Prozessparameter erfolgte.

Im Rahmen von Schneiduntersuchungen sind Strahlfallen zeitweise durch Umlenkspiegel ersetzt worden. Somit wird dem Prozess durch Rückreflexion entzogene Leistung umgehend wieder zur Verfügung gestellt. Die Schnittergebnisse mit identischen Prozessparametern zeigen eine deutliche Stabilisierung des Prozesses sowie eine erhebliche Steigerung der Schnittqualität (Abb. 3).

Exemplarische Schweißversuche von Kupferkontakten liefern ebenfalls vergleichbare Prozessergebnisse.

- 1 Zerstörtes Faserende durch Rückreflexion
- 3 Schnittkante ohne (a) und mit (b) Nutzung der reflektierten Laserstrahlung

KONTAKT

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





HÖHERE FLEXIBILITÄT MIT DOPPELKERNFASERN

DIE AUFGABE

Dienstleister im Bereich Lasermaterialbearbeitung werden mit den unterschiedlichsten Aufgaben in den Bereichen Schneiden, Schweißen, Auf- oder Abtragen betreut. Auch in der Prototypenfertigung sind häufige Wechsel der Fertigungstechnologie notwendig. Wird für alle Verfahren die optimale Lasertechnik vorgehalten, kann das schnell ins Geld gehen. Eine wirtschaftliche Auslastung der Anlagen ist meist nicht erreichbar. Moderne Laser bieten zwar die Möglichkeit, in Lichtleitkabel mit unterschiedlichen Faserdurchmessern auszukoppeln, das häufige manuelle Wechseln Fasern führt jedoch schnell zu Verunreinigung oder Beschädigung der Faserenden. Wünschenswert ist ein flexibles Maschinensystem, das schnelle automatische Wechsel auf unterschiedliche Faserdurchmesser ermöglichen und über eine automatische Anpassung des Laserfokusbereichs verfügen würde.

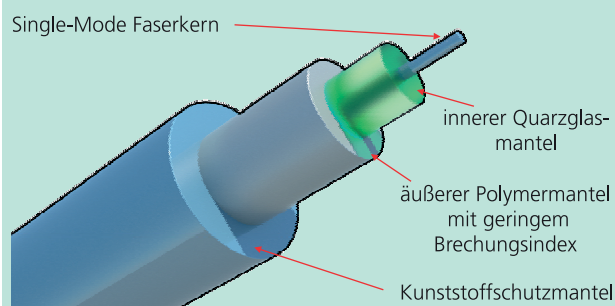
UNSERE LÖSUNG

Am Fraunhofer Center for Laser Applications (CLA) in Plymouth, MI, USA wurde eine neue Laseranlage mit Dual-Core-Fasertechnologie in Betrieb genommen. Die 5-Achs-CNC-

Laserbearbeitungsanlage besitzt einen Arbeitsbereich von 4 m (13,1 ft) x 1,5 m (4,9 ft) und eine motorisierte Schweißoptik. Es ist die erste in Nordamerika installierte Anlage dieser Art.

Mit Hilfe eines internen Laserstrahlschalters kann der Strahl automatisch von der inneren 100 µm Faser im Kern zu der äußeren 400 µm Faser umschalten (Abb. 6). Dies ermöglicht sowohl eine schnelle Anpassung des Laserfokus für Schweißanwendungen als auch ein schnelles Umschalten von Schneid- auf Schweiß- oder Auftragschweißprozesse (und umgekehrt), ohne dass das Glasfaserkabel auszutauschen ist.

Prinzip der Doppelkernfaser



2

Technische Daten der Anlagentechnik

Achse	Arbeitsbereich	Geschwindigkeit
X	4.000 mm	100 m min ⁻¹
Y	1.500 mm	80 m min ⁻¹
Z	750 mm	80 m min ⁻¹
B	± 120 °	60 min ⁻¹
C	n x 360 °	60 min ⁻¹
simultan	-	150 m min ⁻¹

Genauigkeit

kleinste programmierbare Messstrecke	0,001 mm
max. Streuung, Linearachsen	0,03 mm
max. Streuung, Rotationsachsen	0,005 °
max. Positionierung, Linearachsen	0,08 mm
max. Positionierung, Rotationsachsen	0,015 °

TRUMPF TruDisk HLD6001

max. Laserleistung TruDisk	6.600 W
max. Schnittleistung	6.000 W

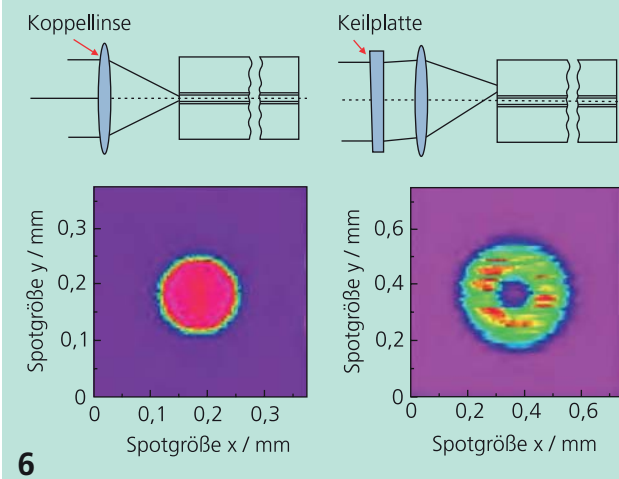
3



ERGEBNISSE

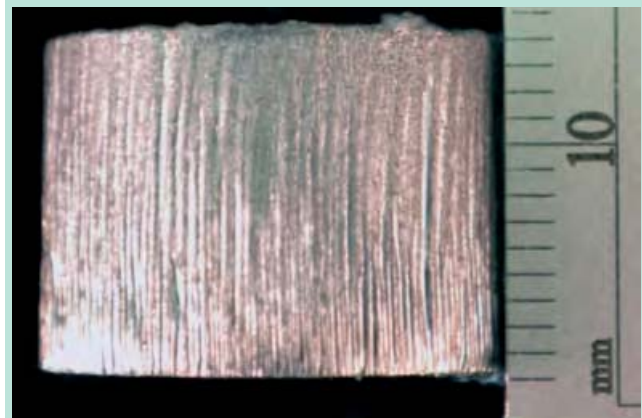
Abbildung 6 zeigt, wie der eingekoppelte Laserstrahl mit Hilfe einer Keilplatte vom inneren 100 Mikrometer dicken Kern (links) in den äußeren 400 Mikrometer dicken Kern (rechts) verschoben wird. Darunter ist das jeweils zugehörige Strahlenergieverteilungsprofil im Fokuspunkt dargestellt. Während des Schneidvorgangs wird der Laserstrahl in der inneren Faser geführt, beim Schweißen im Außenringkern.

Prinzip der Lasereinkopplung in den Faserkern oder Ringkern und zugehörige Energieverteilungsprofile



Das Fraunhofer CLA hat mit der vorgestellten Anlagentechnik bereits eine Vielzahl von Schneid- und Schweißprojekten durchgeführt (siehe Abb. 1, 4 und 5) und bei der Umrüstung zwischen den Prozessen erheblich Zeit eingespart. Die Umrüstung ist einfach und schnell möglich und bietet damit insbesondere Dienstleistern und dem Prototypenbau erhebliche Aufwandsreduzierung.

Schnittkante einer mittels Doppelkernfaser geschnittenen Stahlprobe



Die motorisierte Schweißoptik erlaubt darüber hinaus eine zusätzliche Anpassung der Spotgröße im Laserfokus. Allein durch Variation der Einstellungen auf dem CNC-Bedienerpanel kann der Durchmesser der 400 μm Faser von 0,38 mm bis 0,58 mm und der der 100 μm Faser von 0,1 mm bis 0,18 mm variiert werden.

- 1 Laser-Schweiß-Prozess mit integrierten Rotationsachsen
- 4,5 Laser-Schneidprozess mit Doppelkernfaser

KONTAKT

Craig Bratt
 Telefon: +1 734 738 0550
 cbratt@fraunhofer.org

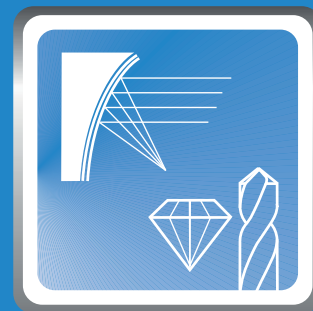


**ABTEILUNGSLEITER
PROF. DR. ANDREAS LESON**



»Den größten Fehler, den man im Leben machen kann, ist, immer Angst zu haben, einen Fehler zu machen.«

Dietrich Bonhoeffer



GESCHÄFTSFELD PVD-VAKUUM-SCHICHTTECHNOLOGIE

Redaktion: Für die Herstellung immer leistungsfähigerer und komplexerer Schaltkreise ist die EUV-Lithographie ein aussichtsreicher Kandidat. Nach einigen Verzögerungen zeichnet sich nun ab, dass diese für die Serienfertigung von zukünftigen Halbleiterbauelementen eingesetzt werden wird. Herr Prof. Leson, welche Rolle spielt das IWS bei dieser Thematik?

Prof. Leson: Die Optiken im Röntgenbereich stellen eine zentrale Schlüsselkomponente dar. Aufgrund unserer langjährigen Erfahrungen und Kompetenz bei der Herstellung extrem präziser Multischichten für diese Optiken können wir bei der EUV-Lithographie wichtige Beiträge für die Herstellung der äußerst anspruchsvollen Optiken leisten. Hier gibt es noch viel Verbesserungspotenzial, das wir gemeinsam mit unseren Partnern erschließen wollen. Ein bemerkenswertes und besonders erfreuliches Ergebnis in diesem Jahr ist die Tatsache, dass wir mit unserer neuen Anlagentechnik erneut einen Weltrekord für die Reflektivität dieser Multischichten erzielen konnten. Die Produktivität der EUV-Lithographie kann damit nochmals gesteigert werden. Aber auch für andere Anwendungen wie etwa höchstauflösende Röntgenoptiken, sogenannte Multischicht-Laue-Linsen, können wir unser Know-how bei der Multischichtabscheidung vorteilhaft einsetzen. So ist es uns gelungen, erstmals überhaupt mit gekreuzten Laue-Linsen eine Fokussierung des Röntgenstrahls auf unter 45 Nanometer zu erreichen.

Redaktion: Die Herstellung und der Einsatz extrem harter und reibungsarmer Kohlenstoffschichten ist seit längerem ein besonders wichtiges Thema, mit dem sich Ihre Mitarbeiter und Sie befassen. Was sind die Ursachen für dieses große Interesse?

Prof. Leson: Der Aspekt der Reibungsreduzierung ist im Hinblick auf die gesellschaftliche Aufgabe zur Reduktion der CO₂-Emissionen und damit zur Steigerung der Energieeffizienz stark in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Unsere am IWS entwickelten superharten Kohlenstoffschichten bieten hier ein herausragendes Potenzial, da sie zum einen extrem verschleißfest sind, und zum anderen die Möglichkeit bieten, die Reibung drastisch zu reduzieren. Darüber hinaus haben wir in den letzten Jahren mit unserer Laser-Arc-Technologie ein Verfahren zur industriellen Einsatzreife entwickelt, welches im Hinblick auf Produktivität und Stabilität nahezu konkurrenzlos ist. Derzeit arbeiten wir mit unseren Partnern intensiv an weiteren Überführungen in die Industrie, um das volle Potenzial dieser Schichten in der Praxis zu erschließen. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Automobilindustrie mit ihren Zulieferern. Aber auch im Zweiradbereich, der mir auch persönlich nahe liegt, gibt es interessante Ansätze, die wir zukünftig erschließen wollen.

Redaktion: Gibt es über die umfangreichen Arbeiten zur Reibungsreduzierung hinaus noch andere Ansätze, die Sie in Ihrer Abteilung verfolgen?

Prof. Leson: Ja natürlich. Beispielsweise haben wir gerade erfolgreich ein Projekt abgeschlossen, das genau die entgegengesetzte Zielstellung, nämlich eine deutliche Erhöhung der Reibwerte zum Ziel hatte. Dies ist vor allem für die reibschlüssige Kraftübertragung beziehungsweise Verbindung von Bauteilen interessant. Wir konnten zeigen, dass sich mit einer geeigneten PVD-Beschichtung die Reibwerte drastisch steigern lassen. Dies ist für viele Anwendungen von hohem Interesse, da sich damit größere Kräfte und Momente übertragen lassen oder auch Möglichkeiten zur Materialeinsparung ergeben, die wir jetzt gemeinsam mit unseren Partnern erschließen wollen.



KOMPETENZEN

RÖNTGEN- UND EUV-OPTIK

Zur Abscheidung von Nanometer-Einzel- und Multischichten für EUV- und Röntgenoptiken setzen wir die Verfahren der Magnetron- und Ionenstrahl-Sputter-Deposition sowie der Puls-Laser-Deposition ein. Die Schichtsysteme genügen höchsten Ansprüchen hinsichtlich Schichtdickengenauigkeit, Rauheit, chemischer Reinheit, lateraler Homogenität und Reproduzierbarkeit. Genutzt werden diese Schichtsysteme in Röntgenoptiken und röntgenoptischen Systemen. Darüber hinaus befassen wir uns mit reaktiven Multischichten, die zum hochpräzisen und reproduzierbaren Fügen eingesetzt werden und sich insbesondere für das Fügen temperaturempfindlicher Bauteile eignen. Neben der Entwicklung und Herstellung von Präzisionsschichten bietet die Arbeitsgruppe langjährige Erfahrungen auf den Gebieten der Charakterisierung und Modellierung von Nanometerschichten an.

KOHLENSTOFFSCHICHTEN

Die in der Arbeitsgruppe entwickelten superharten ta-C Kohlenstoffschichten (Diamor®) eignen sich hervorragend als reibungsmindernde Schutzschichten für geschmierte und ungeschmierte Anwendungsbedingungen. Sie können auf verschiedensten Werkzeugen und Bauteilen 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 Partner-Unternehmen neben der Technologie auch die erforderlichen Beschichtungsquellen und -anlagen sowie die laserakustische Prüftechnik LAwave® zur Qualitätssicherung und Schichtoptimierung.

PVD-SCHICHTEN

Verfahren der physikalischen Dampfphasenabscheidung (PVD = Physical Vapor Deposition) erlauben die Abscheidung hochwertiger tribologischer und funktioneller Schichten im Dickenbereich von wenigen Nanometern bis zu einigen hundert Mikrometern. Dafür stehen in der Arbeitsgruppe Verfahren von der Hochrate-Bedampfung bis hin zu hochaktivierten Plasmaverfahren sowie deren Kombinationen zur Verfügung. Besondere Schwerpunkte sind die Nutzung von Bogenentladungen als effizienteste Quelle energiereicher Dampfstrahlen sowie die Herstellung sehr dicker PVD-Schichten für verschiedene Anwendungen.



ABTEILUNGSLEITER

PROF. ANDREAS LESON

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



GRUPPENLEITER

RÖNTGEN- UND EUV-OPTIK

DR. STEFAN BRAUN

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



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2014

1. Korrosionsschutz für metallische Bipolarplatten	92
2. Gleitreibung reduzieren mit Diamor® und Schmierstoff	94
3. Energieeffiziente Fensterverglasung durch kostengünstige Nachrüstung	96
4. PVD-Beschichtungen zur Optimierung reibschlüssiger Kraftübertragung	98
5. Ionenstrahlbearbeitung für Optiken mit höchster Präzision	100
6. Reaktive Multischichtsysteme für Applikationen in der Fügetechnik	102
5. Nano im Fokus - Multischicht-Laue-Linsen fokussieren Röntgenstrahlen	104

GRUPPENLEITER

KOHLENSTOFFSCHICHTEN

DR. VOLKER WEIHNACHT

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



GRUPPENLEITER

PVD-SCHICHTEN

DR. OTMAR ZIMMER

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



KORROSIONSSCHUTZ FÜR METALLISCHE BIPOLARPLATTEN

DIE AUFGABE

Um die hohe Nachfrage der Gesellschaft nach individueller Mobilität angesichts endlicher Ressourcen auch in Zukunft befriedigen zu können, bedarf es neuer, nachhaltiger Mobilitätskonzepte. Deshalb hat das Fraunhofer IWS Dresden sowohl im Bereich batteriebetriebener Fahrzeuge (siehe auch Seite 40/41 sowie Seite 110/111) als auch im Bereich der Brennstoffzellenfahrzeuge umfangreiche Forschungsaktivitäten entfaltet.

In der Brennstoffzelle (BSZ) werden Sauerstoff und Wasserstoff zu Wasser umgesetzt. Dabei entsteht eine nutzbare Spannung von ca. 1 V. Da diese Spannung für automobiler Anwendungen nicht ausreicht, werden bis zu 400 BSZ in Serie geschaltet und zu Stacks gestapelt. Die von der BSZ erzielbare Leistung wird von sogenannten Bipolarplatten (BiP) begrenzt. Diese führen über feine Kanalstrukturen die Gase zu und die Reaktionsprodukte, Wasser und Strom, ab (Abb. 1). Gleichzeitig dienen sie der Kühlung.

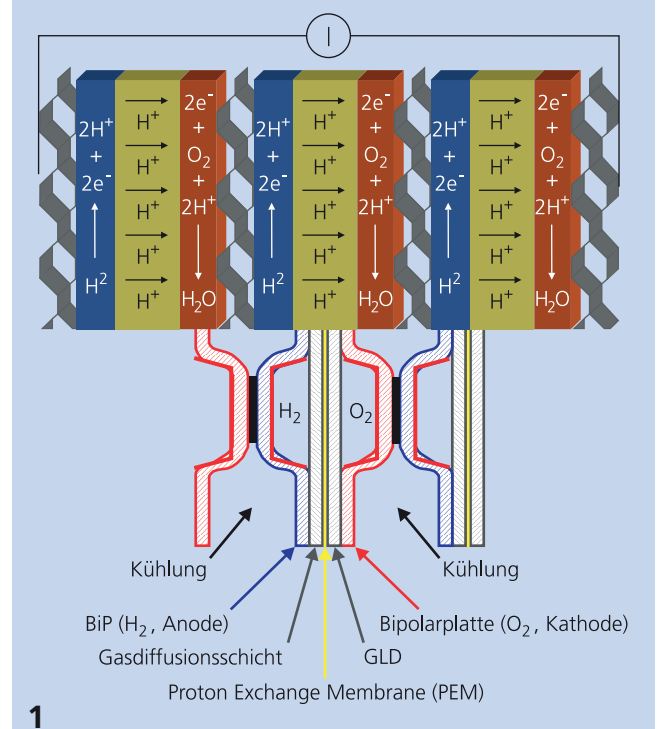
Bisher verwendet man Graphit als Material für die Bipolarplatten. Graphit ist sowohl ein guter Stromleiter als auch beständig gegen die als Elektrolyt verwendete Schwefelsäure. Wegen der geringen mechanischen Stabilität von Graphit sind die BiP vergleichsweise dick. Da der Bauraum im Auto beschränkt ist, setzen die meisten Automobilhersteller für die BiP auf leicht umformbare, dünne Folien aus rost- und säurebeständigen Stählen. Leider leitet die aus Chromoxid bestehende Passivschicht, die dem Edelstahl seinen edlen Charakter verleiht, den elektrischen Strom nur schlecht, wodurch die Effizienz der BSZ deutlich sinkt.

UNSERE LÖSUNG

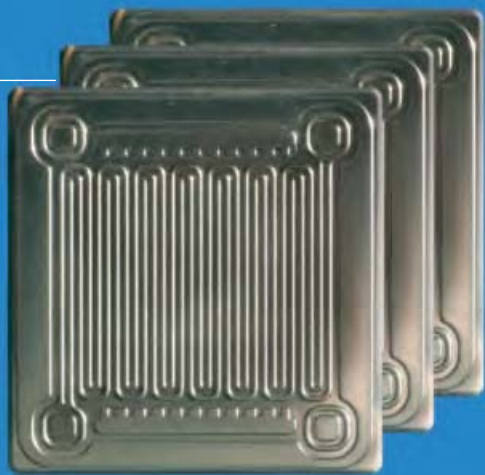
Durch die Beschichtung von Edelstahlfolien mit einer graphitähnlichen Kohlenstoffschicht werden die guten Eigenschaften des Edelstahls (gute Umformbarkeit, hohe Festigkeit und daraus resultierend geringe Dicke) mit denen des Graphits (hohe Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit) kombiniert.

Dazu wird die Randschicht der Edelstahlfolien durch eine Plasmadiffusionsbehandlung im Unterdruck mit Stickstoff und Kohlenstoff angereichert (Plasmanitrocarburieren, PNC).

Schema einer Brennstoffzelle mit Funktion der BiP



2



4



Daneben hat das IWS in den letzten Jahren eine wasserstofffreie, amorphe, überwiegend diamantartige Kohlenstoffschicht entwickelt und patentiert, die sich bereits in vielen Anwendungen erfolgreich bewährt (siehe Seiten 94/95 und 98/99). Das Wissen um die Zusammenhänge zwischen Prozessbedingungen und Schichteigenschaften ermöglichte die Modifikation des Abscheidungsprozesses, so dass überwiegend graphitisch gebundene und damit hoch leitfähige Kohlenstoffschichten (Graphite Like Carbon, GLC) erzeugt werden können.

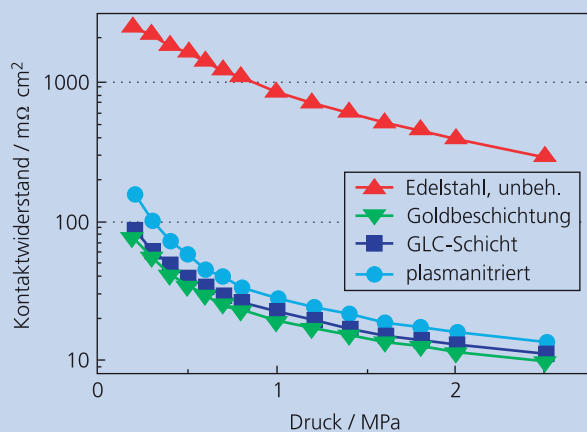
ERGEBNISSE

Mit beiden Oberflächenmodifikationen konnte der Kontaktwiderstand gegenüber der unbehandelten Edelstahloberfläche auf Antrieb um mehrere Größenordnungen gesenkt werden, so dass der elektrische Kontaktwiderstand etwa dem goldbeschichteten Bipolarplatten entspricht (siehe Abb. 3).

Potentiodynamische Messungen in verdünnter Schwefelsäure zeigen, dass der Passivstrom gegenüber unbehandeltem Edelstahl um einen Faktor 5 (PNC) bis 10 (GLC) gesenkt werden kann. Stacktests mit realen Flussfeldgeometrien zeigen auch unter verschärften Testbedingungen eine ausreichende Langzeitstabilität. Umformversuche an zuvor beschichteten Glattblechen ergaben, dass sich diese ohne Delamination der Schichten zu bipolaren Halbplatten umformen lassen. Das Fügen dieser beschichteten Halbplatten zu Bipolarplatten war problemlos möglich.

Die Ergebnisse der im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes MiniBiB (FKZ: 03ET045A) weisen auf ein hohes Potenzial der Lösungen für die Umsetzung in ein kontinuierliches Verfahren hin. Die Behandlung von Bandmaterial im Durchlauf mit anschließendem Umformen und Fügen ist im Hinblick auf die später in der Serie benötigten Stückzahlen von besonderer Bedeutung.

Abhängigkeit des Kontaktwiderstandes vom Anpressdruck für unbehandelten Edelstahl und verschiedene Oberflächenmodifikationen



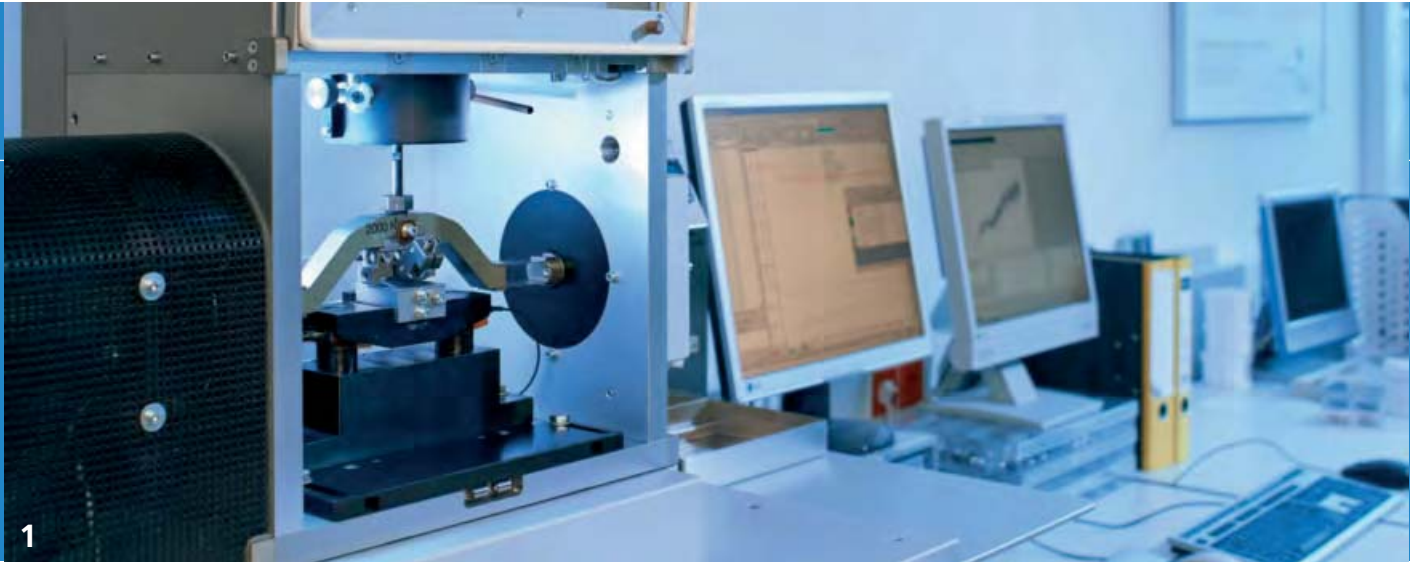
3

- 2 Bipolarhalbblech aus Edelstahl (Demonstratorbauteil)
- 4 Bipolarplatte aus zwei zuerst mit GLC beschichteten, dann umgeformten, lasergeschnittenen und mit dem Laser gefügten Blechen (Demonstratorbauteil)

KONTAKT

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





GLEITREIBUNG REDUZIEREN MIT DIAMOR® UND SCHMIERSTOFF

DIE AUFGABE

Ressourcenverknappung und Klimaveränderung erfordern neue Werkstoffe und Technologien. Ein wichtiges Ziel hierbei ist die Effizienzverbesserung von Maschinen, Anlagen und Fahrzeugen. Durch die Reduzierung von Gewicht sowie Energie- und Kraftstoffverbrauch wird ein geringerer Ressourcenbedarf bei Produktion und Betrieb angestrebt.

Hierbei kommt es unweigerlich zu Reibung und damit meist zur Wandlung von Energie in unerwünschte Erwärmung. Seit Jahren gibt es vielfältige Möglichkeiten zur Reibungsverminderung, unter anderem solche technischen Errungenschaften wie Hochleistungsmotorenöl oder Präzisionskugellager. Die Einsparpotenziale für den so häufigen Gleitkontakt von zwei Metalloberflächen mit Ölschmierung, wie er unter anderem im Verbrennungsmotor zu finden ist, sind jedoch weitestgehend ausgereizt. Nennenswerte Fortschritte sind nur mit neuen Ansätzen zu erwarten.

UNSERE LÖSUNG

Diamor®-Beschichtungen des Fraunhofer IWS Dresden sind superharte, wasserstofffreie amorphe Kohlenstoffschichten, die auch als ta-C bezeichnet werden. Ihre außergewöhnlichen Eigenschaften übertreffen die der bislang industriell eingesetzten wasserstoffhaltigen Kohlenstoffschichten in vielerlei Hinsicht. So reduzieren die Diamor®-Schichten in ölgeschmierten Gleitkontakten die Reibung bereits deutlich. Aufgrund der außerordentlich hohen Härte ist der Verschleiß minimal.

Die geringe chemische Reaktivität äußert sich in hervorragenden Not- und Trockenlaufeigenschaften, selbst im Kontakt mit einer Stahloberfläche. Besonders hohes Potenzial bietet jedoch die seit einigen Jahren erforschte Eigenschaft, mit bestimmten Schmiermitteln superniedrige Reibung zu erzielen. Bei dem als **Supraschmierfähigkeit** bezeichneten Effekt fällt der Reibkoeffizient unter optimierten Bedingungen auf unter 0,01. In vielen Fällen entspricht das einer Reibungsminderung von circa 90 Prozent. Unter diesen Bedingungen ist bereits der Ersatz eines Kugellagers durch ein angepasstes und deutlich preiswerteres Gleitlager denkbar.

Eine Reihe von Modellschmierstoffen zeigt in Verbindung mit Diamor®-Beschichtungen den Effekt der Supraschmierfähigkeit. Mit Hilfe umfangreicher systematischer Untersuchungen im Rahmen des BMWi-Projektes PEGASUS (FKZ: 0327499B) konnten viele weitere umweltfreundliche Stoffe mit dieser Eigenschaft identifiziert werden. Ausgehend von einem herkömmlichen Stahl/Stahl-Kontakt mit Motorölschmierung wurde der Einfluss einer Diamor®-Schicht und verschiedener Schmiermittel untersucht. Sowohl die Diamor®-Beschichtung als auch deren Nachbehandlung erfolgten mit industrietauglichen Prozessen aus dem Fraunhofer IWS, welche seit kurzem auch in die kommerzielle Anwendung überführt werden.

ERGEBNISSE

Schon die aus wirtschaftlichen Gründen zu favorisierende Beschichtung nur eines Reibpartners führte gegenüber der Referenz in Motoröl zu einer Reibungsminimierung von 20 Prozent.



2

Der Einsatz von literaturbekannten Modellschmierstoffen resultierte in einer weiteren deutlichen Herabsetzung der Reibung. Systematische Versuche mit chemisch verwandten Stoffen brachten zutage, dass nahezu alle Pflanzenöle sowie die daraus herstellbaren fettsäurebasierenden Modifikationen ebenfalls diese Eigenschaft besitzen.

Wie Abbildung 3 zeigt, ist mit Rapsöl eine Verminderung der Reibung um 65 Prozent möglich. Der Einsatz unbehandelter Pflanzenöle bietet hinsichtlich Umweltverträglichkeit und Verarbeitungsaufwand sehr attraktive Möglichkeiten, beispielsweise in Land- und Forstwirtschaft, Lebensmittelverarbeitung oder Low-Tech-Maschinen.

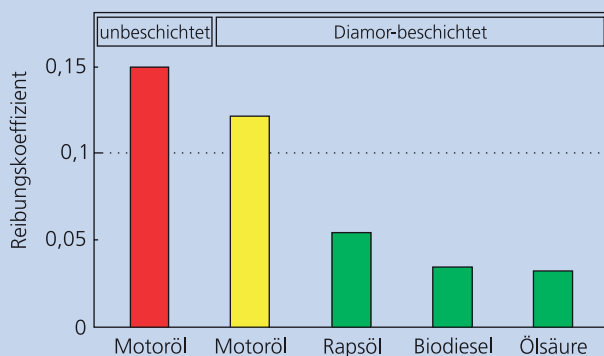
Mit Biodiesel sowie Fettsäuren wie der Ölsäure verringert sich die Reibung sogar um 80 Prozent. Biodiesel ist dank Beimischungsquote nicht nur allgegenwärtiger Treibstoff für Dieselfahrzeuge sondern ebenfalls Schmiermittel in deren Hochdruck- Dieselpumpen, sodass durch beschichtete Komponenten leistungsfähigere Pumpen denkbar sind.

Als Ursache für diese Effekte werden chemische Reaktionen angenommen, da bekannte mechanische Modelle versagen. Indizien hierfür sind der deutliche Einfluss der Prozesstemperatur, des Oberflächenzustands, der Schichteigenschaften sowie das Auftreten bislang unbekannter Verschleißphänomene.

Die Ergebnisse zeigen, dass auch unter anwendungsnahen Bedingungen eine erhebliche Reibungsreduzierung möglich ist. In Verbindung mit umweltfreundlichen Schmiermitteln auf Basis nachwachsender Rohstoffe stellen Diamor®-Schichten einen vielversprechenden neuen Ansatz zur Ressourcen- und Energieeinsparung dar. Mit der am Fraunhofer IWS entwickelten Laser-Arc-Technologie steht eine industriell verfügbare Beschichtungsquelle für ta-C-Schichten zur Verfügung, welche die industrielle Anwendung dieser neuartigen Reibsysteme ermöglicht.

- 1 Modellprüfstand zur Untersuchung von Gleitreibung
- 2 Diamor®-beschichtete Komponenten einer Hochdruck-Dieselpumpe

Einfluss einer Diamor®-Beschichtung auf der Prüfscheibe und verschiedener Schmierstoffe auf die Reibung in einem oszillierenden Kugel-Scheibe-Kontakt



3

KONTAKT

Dipl.-Ing. Stefan Makowski
 Telefon: +49 351 83391-3192
 stefan.makowski@iws.fraunhofer.de





ENERGIEEFFIZIENTE FENSTERVERGLASUNG DURCH KOSTENGÜNSTIGE NACHRÜSTUNG

DIE AUFGABE

In für die Vereinigten Staaten typischen Gebäuden nehmen Verglasungen etwa 15 – 20 Prozent der Außenoberfläche ein. Nach Angaben des US Energieministeriums ist der Anteil der Energieverluste durch Fenster allerdings 50 – 60 Prozent, d. h. mehr als die Hälfte aller Heiz- und Kühlenergie geht durch Fenster verloren. Diese Energieverschwendung entspricht einem jährlichen volkswirtschaftlichen Schaden von 50 Milliarden Dollar.

Die gegenwärtig beste kommerziell verfügbare Lösung zur Reduzierung des Wärmedurchgangs durch Fensterscheiben sind Mehrfachverglasungen mit sogenannten Low-E-Beschichtungen. Low-E- oder LE-Glas ist mit einer dünnen und im optischen Bereich transparenten Beschichtung versehen, die im Infrarotbereich niedrige thermische Emission aufweist. Oft werden sehr dünne Metallfilme (Silber) verwendet. Nachteile dieser Lösung bestehen in dem hohen Gewicht der Doppel- oder Mehrfachverglasung und in den hohen Austauschkosten, wenn die Verglasung versagt. Dies kann notwendig werden, wenn zum Beispiel Luft in den Innenraum zwischen die Glasscheiben eindringt und die Low-E-Beschichtung korrodiert.

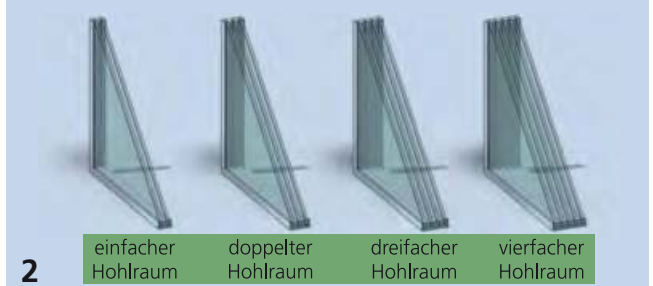
Andere Ansätze, wie zum Beispiel aufklebbare Folien, sind oft nicht effektiv, schwer installierbar, optisch nicht akzeptabel oder in vielen Fällen zu teuer, so dass die Installationskosten nicht innerhalb von 10 Jahren durch Energieeinsparungen zurück gewonnen werden können. Die Aufgabe besteht also darin, eine Lösung zu entwickeln, die einfach installierbar ist, in bereits bestehende Verglasungen integriert werden kann, und die erhebliche Energieeinsparungen aber keine optischen Nachteile mit sich bringt.

UNSERE LÖSUNG

Gemeinsam mit einem Industriekunden entwickelten Wissenschaftler am Fraunhofer USA Center for Coatings and Laser Applications in East Lansing, Michigan, eine preiswerte und an die speziellen Umstände anpassbare Lösung. Damit werden bereits bestehende Verglasungen auf einfache Weise zum Teil erheblich energieeffizienter.

Das Grundkonzept basiert auf einem sehr dünnen, leichtgewichtigen, für optische Wellenlängen transparenten und UV-stabilem Polymerfilm, der mit einer wellenlängenselektiven und nichtmetallischen Low-E-Beschichtung versehen ist. Im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes ist die Low-E-Beschichtung möglichst völlig transparent. Der Polymerfilm wird nicht auf das Fenster geklebt. Vielmehr erfolgt die Installation in einem Insert, das mit Hilfe eines ebenfalls leichtgewichtigen Rahmens leicht austausch- und anpassbar im Innenraum vor die Fensterscheiben gesetzt wird (Abb. 1). Auf diese Weise kann jede schon existierende Fensterinstallation nachgerüstet werden (Retrofit). Die Einfachheit dieser Retrofit-Lösung gestattet es, auch mehrere Low-E-Filme in einem einzelnen Insert »in Serie« zu schalten, um so den Wärmedurchgang weiter zu reduzieren (Abb. 2).

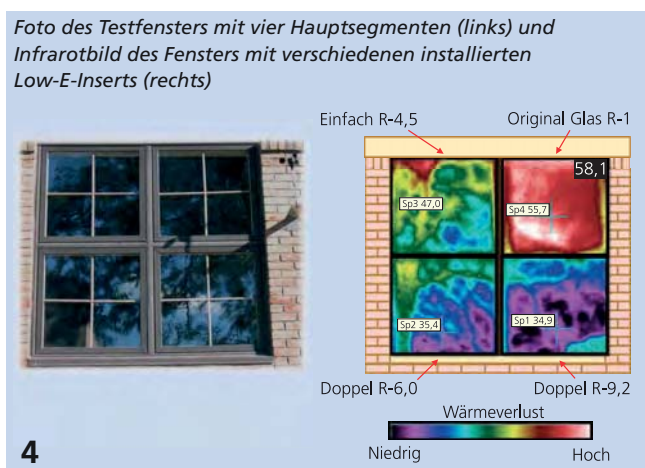
Inserts mit mehreren Low-E-Folien um den Wärmedurchgangskoeffizienten weiter zu verringern



ERGEBNISSE

In Rahmen eines von dem Energiekonzern DTE Energy Corporation ausgeschrieben Ideenwettbewerbs zum Thema Energieeffizienz von Gebäuden ging die hier vorgestellte Lösung als Gewinner hervor. Das Projekt erhielt eine Finanzierung zur Entwicklung von Prototypen. Die von Fraunhofer CCL beschichteten Folien wurden bei dem Industriepartner in Inserts eingesetzt und von einer unabhängigen Forschungseinrichtung (Calvin College, Engineering Department in Grand Rapids, Michigan) unter realistischen Einsatzbedingungen getestet.

In Abbildung 4 ist links das Testfenster mit vier Hauptsegmenten zu sehen. Abbildung 4 rechts zeigt das Infrarotbild. Das Bild wurde im Winter vor dem Sonnenaufgang bei einer Außentemperatur von 24 °F (-4,4 °C) und einer Innentemperatur 68,5 °F (20,3 °C) aufgenommen. Der Wärmeverlust ist am höchsten im Segment oben rechts, das lediglich eine einfache Glasscheibe enthält. Wesentlich weniger Wärme geht verloren im Segment oben links. Hier wurde hinter der Einfachverglasung ein Insert mit einer Low-E-Folie installiert. In den unteren Segmenten sind jeweils Inserts mit 2 und 3 Low-E-Folien installiert, was den Wärmeverlust weiter reduziert.



Die in der Abbildung 4 dargestellten R-Werte stehen für den thermischen Widerstand und sind in US typischen Einheiten von $\text{BTU}/(\text{h } ^\circ\text{F ft}^2)$ dargestellt. In SI Einheiten von $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$ sind die entsprechenden Werte etwa 5,7-mal kleiner. Der thermische Widerstand ist der reziproke Wert des Wärmedurchgangskoeffizienten und ist üblich in der Bauindustrie. Je höher der R-Wert umso besser ist die Isolation. Laut US Energieministerium wird für Fenster ein R-Faktor von 10 angestrebt, um Energieneutralität mit minimalen Heiz- und Kühlverlusten bei gleichzeitig ausreichendem Durchgang von Tageslicht zu erreichen. Dieser Wert wurde nahezu erreicht mit dem dreifachen Low-E beschichteten Insert (Abb. 4, Segment unten rechts, R-9,2).

R-Werte in $\text{BTU}/(\text{h } ^\circ\text{F ft}^2)$ für typische Verglasungen (<http://www.coloradoenergy.org>)

Fenstertyp	R-Wert in $\text{BTU}/(\text{h } ^\circ\text{F ft}^2)$
Einfachverglasung	0,91
Doppelverglasung, 3/16" Abstand	1,61
Doppelverglasung, 1/2" Abstand	2,04
Doppelverglasung, 1/2" Abstand mit Low-E-Schicht einfach	3,13
Dreifachverglasung, 1/2" Abstände	3,23
Fraunhofer Einfachverglasung mit Low-Insert einfach	4,5
Fraunhofer Einfachverglasung mit Low-Insert dreifach	9,1

3

1 Einfache Retrofit-Installation des Low-E-Polymerfilms vor dem eigentlichen Fenster

KONTAKT

Dipl.-Ing. Lars Haubold
Telefon: +01 517432 8179
lhaubold@fraunhofer.org





PVD-BESCHICHTUNGEN ZUR OPTIMIERUNG REIBSCHLÜSSIGER KRAFTÜBERTRAGUNG

DIE AUFGABE

Reibschlüssige Bauteilverbindungen, wie Press-, Flansch- oder Schraubverbindungen (Abb. 1), sind in nahezu allen technischen Anwendungen vorhanden; von mobiler Antriebstechnik über Struktur Stahlbau bis zu Windenergieanlagen. Durch eine Erhöhung der vorhandenen Haftreibwerte könnten entsprechend größere Kräfte und Momente übertragen bzw. die Anzahl der Verbindungselemente (Schrauben) und deren Abmessungen reduziert oder der Volumennutzwert erhöht werden.

In der Vergangenheit sind bereits Ansätze zur zuverlässigen Erhöhung der Haftreibung entwickelt und teilweise industriell umgesetzt worden. So werden z. B. mit Hartpartikeln belegte Folien zwischen den Reibpartnern angeordnet oder thermisch gespritzte Beschichtungen aus einer metallischen Matrix und keramischen Partikeln auf einen der Reibpartner aufgebracht. In beiden Fällen muss die Schicht- bzw. Foliendicke (im Zehntelmillimeterbereich) konstruktiv berücksichtigt werden. Dünne Hartstoffschichten, die mit PVD-Verfahren auf Werkzeuge oder Bauteile aufgebracht werden, sind für ihre verschleißschützende und antiadhäsive Wirkung bekannt. Eine Nutzung der Schichten zur gezielten Erhöhung der Reibung ist weitgehend unbekannt, könnte jedoch eine platzsparende Lösung zur zuverlässigen Erhöhung der Haftreibung unter unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen darstellen.

UNSERE LÖSUNG

Das Arc-PVD-Verfahren ist ein industriell eingeführtes Standardverfahren zur Werkzeugbeschichtung. Eine Besonderheit

des Verfahrens besteht darin, dass neben hoch ionisiertem Beschichtungsplasma auch mikroskopische Partikel, so genannte Droplets, von der Beschichtungsquelle emittiert und in die Beschichtung eingebaut werden.

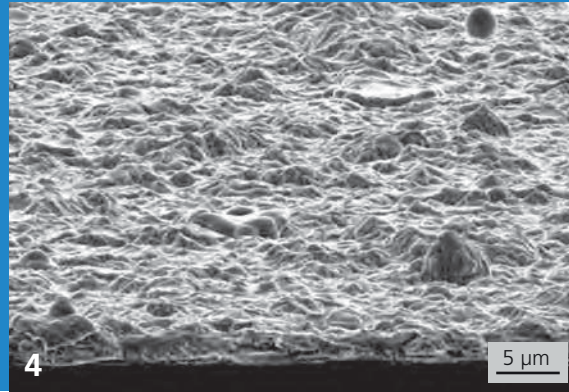
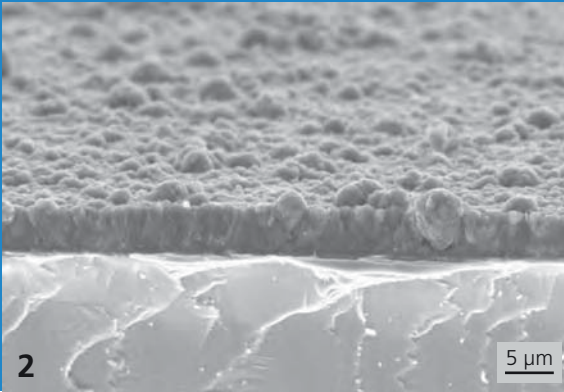
Mit Hilfe eines geeigneten Schichtdesigns ist es am Fraunhofer IWS Dresden gelungen, die mit dem Verfahren entstehende Rauheit zur Herstellung von Oberflächen mit sehr hohen Haftreibwerten zu nutzen. In Kombination mit der Verschleißbeständigkeit und Haftfestigkeit der Schichten auf dem Grundwerkstoff konnte so eine verlässliche und langzeitstabile Einstellung des Haftreibwertes der Reibpaarung erzielt werden.

ERGEBNISSE

Im Rahmen von Voruntersuchungen wurden zwei verschiedene Schichtsysteme identifiziert, die als reibwerterhöhende Beschichtung geeignet sind. Es handelt sich dabei um:

- hartamorphe Kohlenstoffschichten (ta-C)
- Nimonic90- AlTiN

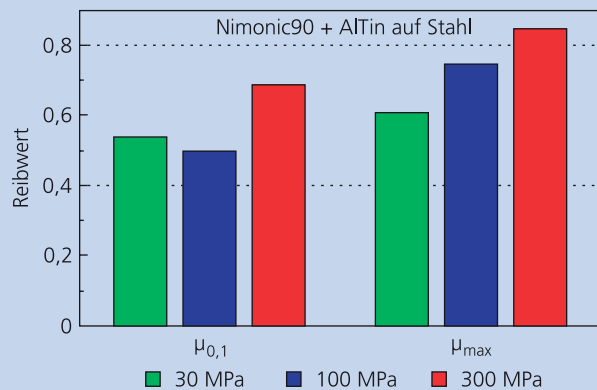
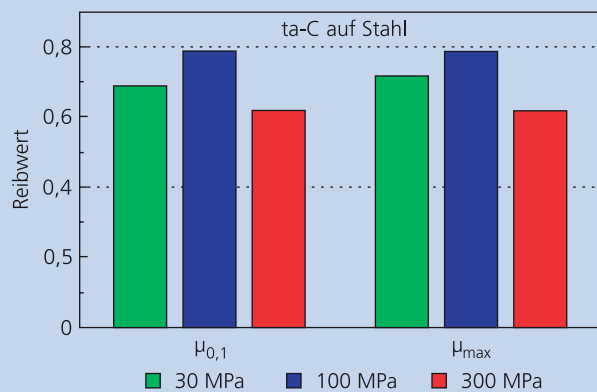
Bei der Arc-Abscheidung dieser Schichtsysteme kann eine ausgeprägte Mikrorauheit eingestellt werden. Im Falle der Kohlenstoffschicht entsteht diese durch harte Kohlenstoffpartikel, die sich bei der Verdampfung von Graphit bilden und in die Schichtoberfläche eingebaut werden (Abb. 2). Beim Schichtsystem Nimonic90- AlTiN wird zunächst die Nimonic-Schicht mit ausgeprägter Rauheit aufgetragen (Abb. 4), die AlTiN-Schicht wirkt als harte Deckschicht zur Stabilisierung der Oberflächenstruktur.



Die Untersuchung des Reibverhaltens erfolgte an einem Torsionsprüfstand. Dabei werden zwei Reibpartner bei verschiedenem Fugendruck gegeneinander verdreht, wobei das drehwinkelabhängige Torsionsmoment gemessen wird. Daraus können verschiedene Reibparameter ($\mu_{0,1}$ = Reibwert bei $0,1^\circ$ Torsion und μ_{\max} = maximal erreichter Reibwert) abgeleitet werden.

Für die Torsionsversuche wurden spezielle Probekörper gefertigt und jeweils ein Reibpartner beschichtet. Die Schichtdicken lagen für beide Schichtsysteme zwischen 3 Mikrometern und 5 Mikrometern. Der Gegenkörper blieb jeweils unbeschichtet.

Reibwerte $\mu_{0,1}$ und μ_{\max} beschichteter Reibpaarungen bei Fugendrücken von 30 MPa, 100 MPa und 300 MPa



3

Die ermittelten Reibwerte sind in Abbildung 3 dargestellt. Mit beiden Schichttypen werden Werte zwischen 0,5 und 0,8 (je nach Versuchsbedingung) erreicht. Im Vergleich zu mechanisch bearbeiteten Stahloberflächen (Reibwert ca. 0,2) stellt dies eine wesentliche Erhöhung dar.

Darüber hinaus wurden Untersuchungen zum Einfluss der Umgebungsbedingungen (z. B. Beölung der Reibflächen) auf die Reibwerte durchgeführt. Dabei wurde lediglich ein geringer Abfall der Reibwerte um ca. 10 - 20 Prozent ermittelt.

Beschichtete Oberflächen zur Optimierung kraftschlüssiger Verbindungen bieten somit ein hohes Potenzial zur Einsparung von Material und Bauraum. PVD-Beschichtungen eignen sich dafür hervorragend. Aufgrund der geringen Schichtdicken ist eine Integration in mechanische Systeme problemlos möglich.

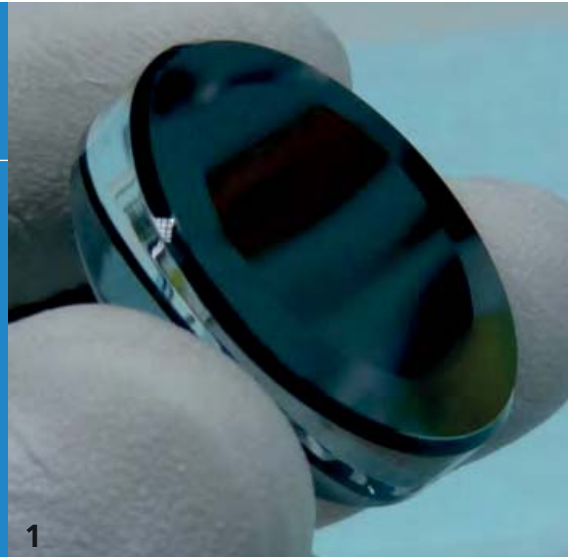
Das Projekt wurde von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), Vorhaben Nr. 17230 BR /1 gefördert. Wir danken dem Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik der TU Chemnitz für die Durchführung der Torsionsversuche.

- 1 Flanschverbindung und Querschraubverbindung
- 2/4 Bruchbild der zur Reibwerterhöhung mittels Arc abgeschiedenen ta-C-Schicht (2) und Metallschicht (3)

KONTAKT

Dr. Otmar Zimmer
 Telefon: +49 351 83391-3257
 otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de





1

IONENSTRAHLBEARBEITUNG FÜR OPTIKEN MIT HÖCHSTER PRÄZISION

DIE AUFGABE

Die Herstellung von Spiegeloptiken für EUV- (Extremes Ultraviolett) und Röntgenstrahlung erfordert höchste Präzision und Qualität der Bearbeitungstechniken, mit denen sie geformt, geglättet oder beschichtet werden. Die optischen Eigenschaften der Beschichtungsmaterialien und die Perfektion des im Allgemeinen aus einer Vielzahl von Einzelschichten bestehenden reflektierenden Stapels sind ebenso wichtige Parameter wie Konturtreue und Oberflächenrauheit des Spiegelgrundkörpers (Abb. 2).

Während die (Multilayer-)Beschichtung in erster Linie für das spektrale Reflexionsverhalten des Spiegels verantwortlich ist, wird die Strahlform, d. h. die Kaustik des reflektierten Lichts, von der Kontur der Spiegeloberfläche bestimmt. So sind zur Strahlfokussierung bei kurzen Brennweiten oder hohen Aperturwinkeln stark 2D-gekrümmte Oberflächen notwendig. Synchrotronoptiken erfordern dagegen ebene, relativ lange Substrate mit geringsten Neigungsfehlertoleranzen.

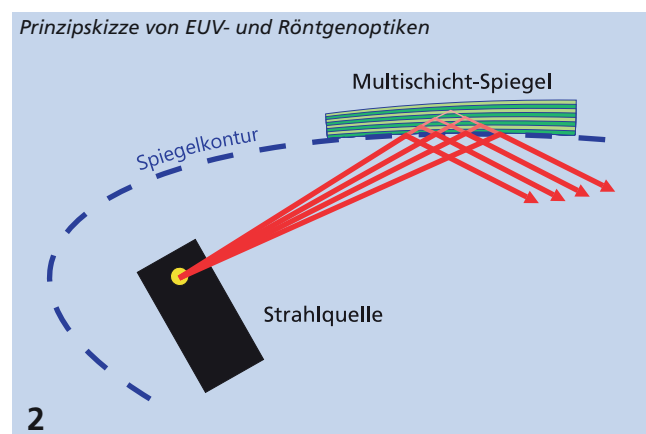
Für alle formgebenden Bearbeitungsverfahren liegt die größte Herausforderung jedoch in der extrem kleinen Mikrorauheit der Oberfläche. Sie liegt in der Größenordnung von wenigen 0,1 nm und ist die Grundlage für die Gewährleistung von ausreichenden Reflexionsgraden in diesem Wellenlängenbereich.

UNSERE LÖSUNG

Mittels Ionenstrahlbeschuss im Vakuum lassen sich definiert und reproduzierbar Abtragprofile an typischen Spiegelmaterialien wie z. B. Silizium oder Spezialgläser realisieren. Gleichzeitig können durch die ballistische Wechselwirkung der Ionen

mit der Substratoberfläche atomare Glättungsprozesse initiiert werden, so dass die geforderte Mikrorauheit an der Oberfläche erreicht wird. Die im Allgemeinen mechanisch und nasschemisch vopolitierten Ausgangssubstrate mit ebener oder sphärischer Kontur können so anwendungsspezifisch asphärisiert und/oder weiter geglättet werden. Wichtig für die Minimierung von Konturfehlern (»Slope Error«) ist ein präziser und homogener Abtragsprozess.

Die UHV-Ionenstrahl-Sputteranlage am Fraunhofer IWS Dresden ermöglicht alle Bearbeitungsschritte zur Herstellung von EUV- und Röntgen-Optiken. Das Konturieren, Glätten und Reinigen der Ausgangssubstrate ist ebenso möglich wie deren Beschichtung mit nm-präzisen Multilagen. Die für jeden Prozessschritt spezifische Ionenenergie und -rate kann dabei für zwei ECR-Ionenquellen im Bereich zwischen 50...2000 eV gezielt eingestellt werden. Aufgrund eines Blendensystems zur Formung des Abtrags- und Beschichtungsprofils lassen sich großflächige Substrate bis zu 500 x 200 mm² optischer Fläche homogen und reproduzierbar bearbeiten.



2



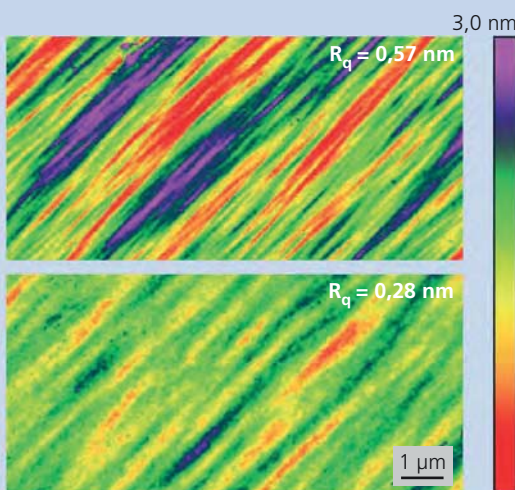
ERGEBNISSE

Mittels Ionenabtrag wurde eine ebene Synchrotronoptik mit einer anfänglichen Mikrorauheit von $R_q = 0,57$ nm geglättet. Der meridionale Restkrümmungsradius der gelieferten Optik lag bei 15,5 km (konkav), was einer Durchbiegung von ca. 270 nm in der Spiegelmitte entspricht. Der Winkeltangentenfehler betrug etwa $0,25$ μ rad rms (0,06 arcsec). Nach einem homogenen Materialabtrag von 500 nm Silizium wurde die Mikrorauheit des Spiegels auf $R_q = 0,28$ nm gesenkt (Abb. 4).

Wie Abbildung 5 oben zeigt, wurde die Oberfläche homogen reproduziert. Der relative Fehler der Abtragtiefe beträgt ca. $\pm 0,4$ Prozent (= 2 nm). Der Winkeltangentenfehler (Abb. 5 unten) bleibt in diesem Bereich mit $0,28$ μ rad rms nahezu unverändert. Die Abweichungen in der Nähe der Auflagekanten des Substrates sind darauf zurückzuführen, dass hier kein Abtrag erfolgte. Werden Spiegelhalterungen ohne Auflagekanten eingesetzt, können die im Innenbereich erzielten Werte auch für die komplette Spiegeloberfläche realisiert werden.

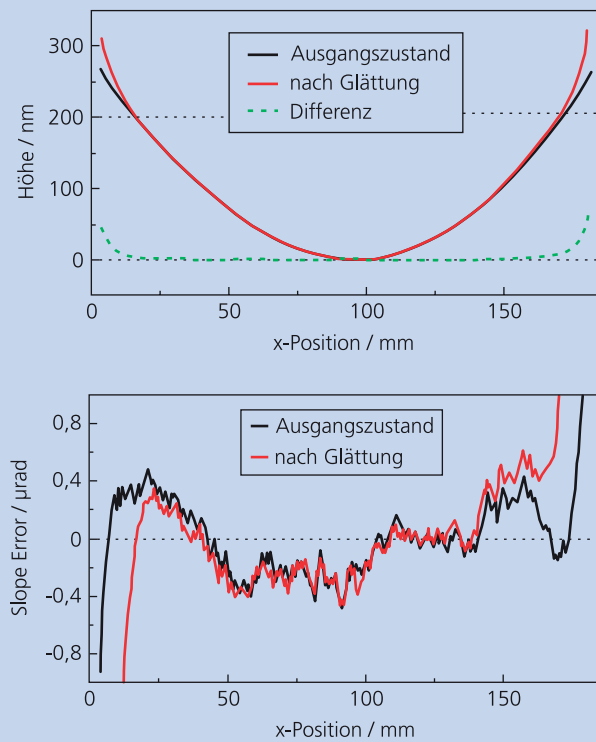
AFM-Aufnahmen der Oberfläche eines einkristallinen Silizium-Synchrotronspiegels

Oben: unbearbeitetes Substrat, Mikrorauheit $R_q = 0,57$ nm
 Unten: ca. 500 nm Materialabtrag durch Ionenstrahlglättung, Mikrorauheit $R_q = 0,28$ nm



4

Substratkontur (oben) und Winkeltangentenfehler (unten) einer Synchrotronoptik in meridionaler Richtung vor und nach Ionenstrahlbearbeitung. Zum besseren Vergleich wurden beide Konturen direkt übereinander gezeichnet (0 nm = tiefster Punkt).



Si-Einkristall $185 \times 32 \times 40$ mm³; $R_{\text{meridional}} = 15,5$ km;
 Abtragtiefe zur Glättung ca. 500 nm
 (Messungen: F. Siewert, NOM / HZB Berlin)

5

1/3 Beispielfotos von EUV- und Röntgenoptiken

KONTAKT

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





REAKTIVE MULTISCHICHTSYSTEME FÜR APPLIKATIONEN IN DER FÜGETECHNIK

DIE AUFGABE

Die in den vergangenen Jahren am Fraunhofer IWS Dresden entwickelten reaktiven Multischichtsysteme (RMS) auf Ni/Al-Basis haben es ermöglicht, fugezonieninterne Wärmequellen für Anwendungen im Temperaturbereich von Thermoplasten bis hin zu zinnbasierten Weichlotverbindungen herzustellen. So konnten RMS bereits erfolgreich in der Mikrosystemtechnik, beim Fügen von Materialien mit extrem unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten sowie für thermoplastische Werkstoffe eingesetzt werden.

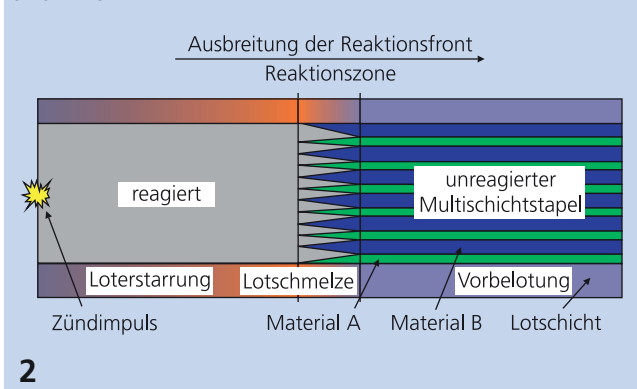
Um den Anwendungsbereich der reaktiven Füge-technologie zu erweitern und neue Anwendungsfälle zu ermöglichen, sind die RMS weiterzuentwickeln. Im Fokus der aktuellen Entwicklungen stehen insbesondere die Anwendung höherschmelzender Lote, als auch die Nutzbarmachung der reaktiven Füge-technologie für Verbindungen von thermoplastischen Verbundwerkstoffen.

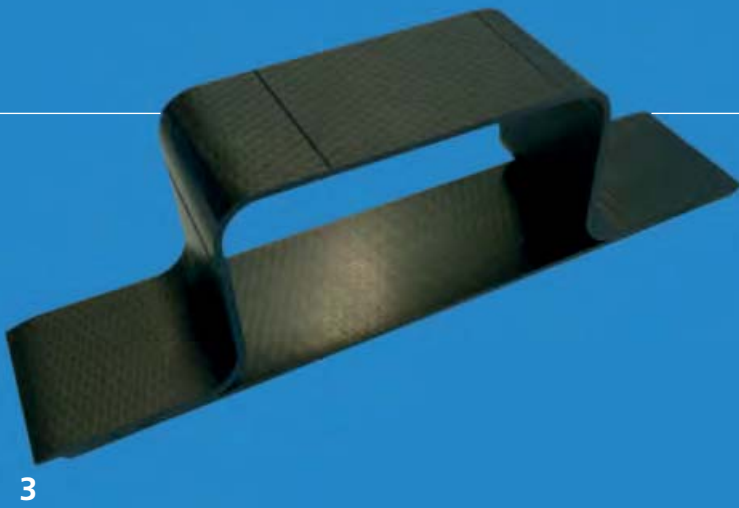
UNSERE LÖSUNG

Wird eine lagenweise aufgebaute RMS in eine Fügezone eingebracht, um als interne Wärmequelle zum Aufschmelzen von Grundmaterialien oder Loten zu dienen, so ergeben sich zahlreiche Vorteile. Durch Ausnutzung der lokal und zeitlich eng begrenzten Wärmeabgabe, während dessen die Bauteile bei Raumtemperatur verbleiben und nur die Fügezone erwärmt wird, können RMS auf den speziellen Anwendungsfall angepasst werden. So lässt sich das lagenweise aufgebaute Design derart zu variieren, dass sich die während der Reaktion freigesetzte Wärmemenge steuern lässt (Abb. 2). Um zu höheren Reaktionstemperaturen und somit in den Hartlotbereich vorzudringen, ist die während der RMS-Reaktion freigesetzte Wärmemenge zu steigern. Dies ist durch Verwendung eines RMS-Stapels mit einer größeren Gesamtdicke realisierbar. Ist eine Erhöhung der Gesamtdicke aus konstruktiven oder auch technologischen Gründen nicht möglich, so besteht die Möglichkeit, höherenergetische Materialsysteme wie Zr/Si zu nutzen.

Im Bereich der Thermoplaste und thermoplastischen Verbundwerkstoffe können RMS für die Herstellung von stoffschlüssigen Verbindungen genutzt werden. Um eine Beschädigung der thermoplastischen Matrix zu verhindern, werden hierbei tendenziell niedrigerenergetische Systeme auf Basis von Ni/Al eingesetzt.

Schematische Darstellung der Ausbreitung der Wärme- und Reaktionsfront in einer RMS





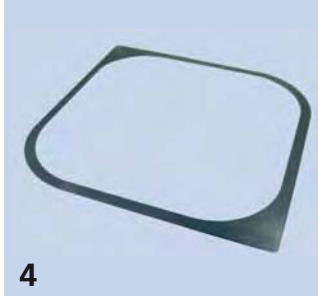
3

ERGEBNISSE

Bisher wurde die reaktive Füge­technologie vorrangig für Anwendungen im Weichlotbereich genutzt. Das Aufschmelzen von Hartloten mit Schmelztemperatu­ren von bis zu 720 °C geht einher mit einer Erhöhung der Wärmemenge, welche bei der Reaktion einer RMS freigesetzt wird. Dafür werden im Fraunhofer IWS Dresden nun Ni/Al-RMS mit Dicken von bis zu 120 µm hergestellt. Ein anderer Weg hin zu höheren Wärmemengen wurde mit der neuartigen und weltweit erstmaligen Herstellung von hochenergetischen RMS auf Zr/Si-Basis beschr­itten. Zr/Si-RMS können bis zu zweimal mehr Wärmeenergie als Ni/Al-RMS bereitstellen und eignen sich daher besonders für Applikationen im Hartlotbereich.

Die mit einem silberbasierten Hartlot und/oder der eutektischen Aluminiumlegierung AlSi10 vorbeloteten RMS kamen beim Fügen von Kupfer-, Aluminium- und Stahlwerkstoffen zum Einsatz (Abb. 1). Bereits erste Fügeversuche unter Nutzung der neuentwickelten RMS verliefen äußerst erfolgreich. Die erreichbaren Festigkeiten der Fügeverbindungen liegen im Bereich von 20 - 40 MPa. Hervorzuheben ist, dass bei der Anwendung der reaktiven Füge­technologie das AlSi10-Lot entgegen konventionellem Löten ohne Flussmittel, Vakuumöfen und Schutzgas angewandt werden kann. Zudem können durch eine anschließende Laserbearbeitung der vorbeloteten

laserstrukturierter RMS-Preform-Rahmen für den Gehäusebau



4

RMS anwendungsbereite RMS-Zuschnitte hergestellt werden (Abb. 4). Diese Zuschnitte ermöglichen die Fügung in einem definierten lokalen Bereich, da sie gleichzeitig sowohl als Wärmequelle als auch als Lot für den Fügeprozess dienen.

Eine Weiterentwicklung der reaktiven Füge­technologie konnte auch im Bereich der faserverstärkten Thermoplaste erreicht werden. Das zum Fügen dieser Materialien häufig eingesetzte Kleben ist mit einer Vorbehandlung der Bauteile, langen Aushärtzeiten sowie der Alterung des Klebstoffes verbunden. Im Fraunhofer IWS wurde daher als Alternative zum Kleben die reaktive Füge­technologie angewandt. Sie erfordert nahezu keine Oberflächenvorbehandlung vor dem Fügen. Dass die Fügung von Polymeren innerhalb kürzester Zeit abgeschlossen ist und eine langzeitstabile Verbindung hergestellt werden kann, sind weitere Vorteile des reaktiven Fügens.

Bei exemplarischen Scherzugtests anhand von unverstärktem Polyamid konnten Festigkeiten erreicht werden, bei welchen das Versagen innerhalb des Grundmaterials und nicht innerhalb der Fügezone auftritt. Auch konnte die thermoplastische Matrix von CFK und GFK Bauteilen genutzt werden, um stoffschlüssige Verbindungen untereinander (Abb. 3) als auch mit unverstärkten Thermoplasten herzustellen. In ersten Versuchen konnte ebenso die Machbarkeit von Hybridverbindungen zwischen Thermoplasten und Aluminium bzw. Stahlwerkstoffen gezeigt werden.

Teile der Ergebnisse wurden im Rahmen des Gemeinschaftsprojektes Reaktives Fügen in der Mikrosystemtechnik (REMTEC, IGF: 17.370 B) erarbeitet.

- 1 *Reaktiv gefügte Materialkombinationen*
- 3 *Reaktiv gefügtes Hutprofil aus kohlefaserverstärktem Polyetherimid*

KONTAKT

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





NANO IM FOKUS - MULTISCHICHT-LAUE-LINSEN FOKUSSIEREN RÖNTGENSTRAHLEN

DIE AUFGABE

Die Röntgenmikroskopie ist eine für unterschiedlichste Anwendungsgebiete vielversprechende Technik, um kleinste Strukturen zerstörungsfrei zu untersuchen. Während bei der konventionellen Lichtmikroskopie die generell erreichbare Auflösung maximal 200 nm beträgt, ist bei der Röntgenmikroskopie ein großes Potenzial zu deutlich höheren Auflösungen vorhanden. Verbesserungen gegenüber dem aktuellen Stand der Technik lassen sich vor allem durch die Weiterentwicklung der Röntgen-Optiken erreichen. Multischicht-Laue-Linsen (MLL) stellen hierbei eine der vielversprechendsten Entwicklungen dar. Sie können potenziell Auflösungen im Nanometerbereich erreichen.

Bei MLL handelt es sich um zonenplattenähnliche Strukturen, welche mit Dünnschichttechnologien hergestellt werden. Am Fraunhofer IWS Dresden wurden bereits Beschichtungen für MLL hergestellt, mit denen Strahlfoki von unter 50 nm bei einer Beugungseffizienz von 11 Prozent demonstriert werden konnten. Um weitere Verbesserungen beim Strahlfokus und der Beugungseffizienz zu erreichen, ist es notwendig, das Verständnis für die Beugungsvorgänge innerhalb der Strukturen zu verbessern.

UNSERE LÖSUNG

Das Fraunhofer IWS Dresden hat eine Methode entwickelt, mit der das Verhalten des Röntgenlichtes innerhalb der Linse berechnet werden kann. Damit ist man in der Lage, Abbildungs- und Fokussierungseigenschaften bei Veränderungen der Linseneigenschaften zu simulieren. Hierdurch ist es möglich, optimale Parameter für jeden Einsatzbereich zu bestimmen und Fertigungstoleranzen zu ermitteln.

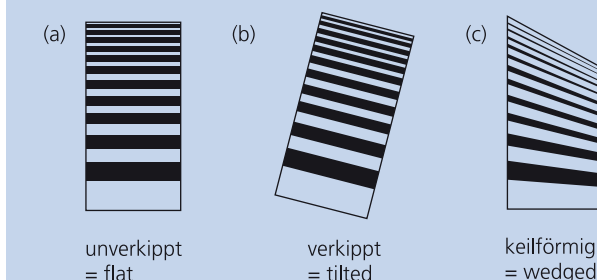
Beispielhaft wurden Fokussierungseigenschaften für folgendes MLL-Design berechnet:

- Röntgenenergie: 10,5 keV
- Brennweite: 1 mm
- Zonen: 100-500
- Gesamtdicke: 4,3 μm
- Material: WSi_2/Si

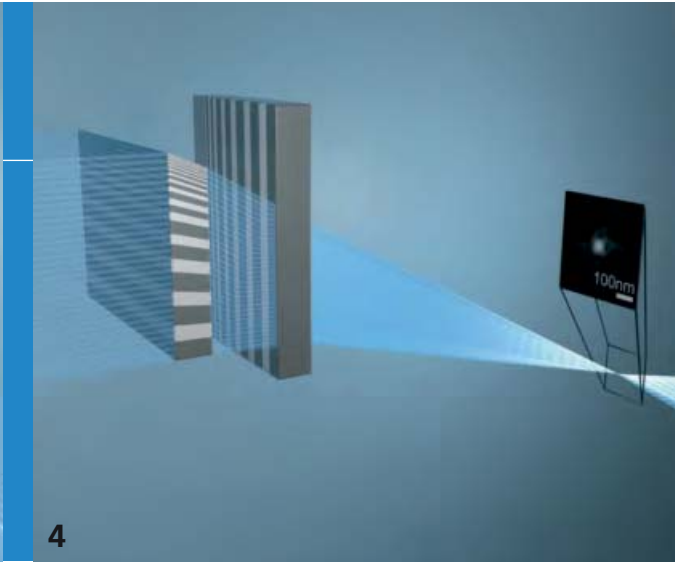
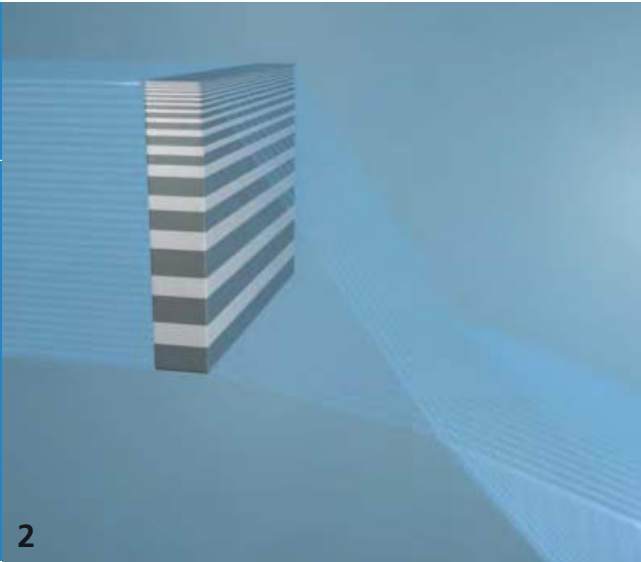
Als Materialkombination wurde WSi_2/Si gewählt, da diese den hergestellten und für die Experimente genutzten Linsen entspricht. Bei den Berechnungen werden die Eigenschaften unterschiedlicher Linsengeometrien miteinander verglichen und Effekte aufgezeigt, die auch bei einem realen Linsendesign auftreten.

MLL können mit unterschiedlichen Geometrien eingesetzt bzw. hergestellt werden. Die drei wichtigsten Geometrien werden in Abbildung 1 gezeigt und im Folgenden diskutiert. Die erste Variante entspricht der Zonenplattengeometrie, bei der alle Zongrenzen parallel zur optischen Achse ausgerichtet sind (unverkippt bzw. »flat« Geometrie, Abb. 1a). Die Linse kann so angekippt werden, dass ein Teil der Zonen die

Schema, wie die drei Geometrien unverkippt (a), verkippt (b) und keilförmig (c) realisiert werden können.



1



Braggbedingung erfüllt und damit eine deutlich höhere Beugungseffizienz erreicht wird (verkippte bzw. »tilted« Geometrie, Abb. 1b). Eine noch höhere Beugungseffizienz kann erreicht werden, indem alle Zonen so ausgerichtet werden, dass ihre jeweilige Braggbedingung erfüllt wird (keilförmige bzw. »wedged« Geometrie, Abb. 1c).

ERGEBNISSE

Für die Berechnung wurde ein Modell angenommen, bei welchem ebene Wellen in die genannten Linsengeometrien bei optimaler Strukturdicke einfallen. Als Ergebnis der Berechnung erhält man das Strahlprofil im Fokus, welches die Intensität in Abhängigkeit von der Position senkrecht zur optischen Achse darstellt. Ein intensives Maximum bei gleichzeitig schmaler Breite ist ein Zeichen für gute Fokussierung durch die verwendete Optik.

Schema, wie die drei Geometrien unverkippt (a), verkippt (b) und keilförmig (c) realisiert werden können.

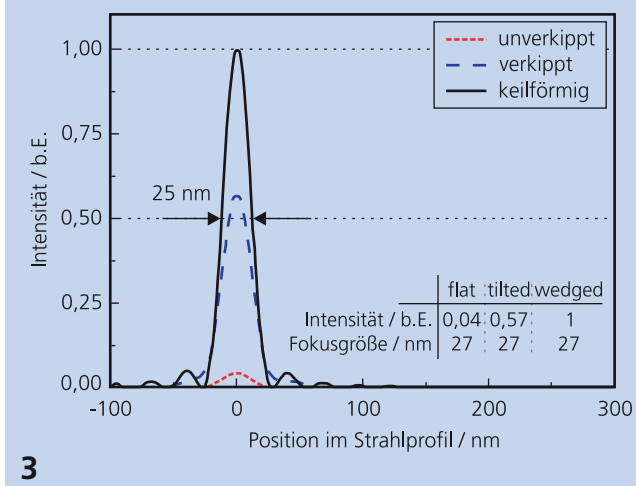


Abbildung 3 zeigt die sich aus den Berechnungen ergebenden Strahlprofile. Das Maximum für die keilförmige Geometrie hat erkennbar die höchste Intensität und weist zusätzlich die kleinste Halbwertsbreite auf. Für größere Linsen und höhere Energien wird der Unterschied noch deutlicher.

Das Beispiel zeigt, dass die Entwicklung von keilförmigen Linsen unabdingbar ist, um kleinere Strahlgrößen und höhere Intensitäten im Fokus zu erreichen.

Fokussierungsexperimente mit verkippten und keilförmiger Linsen wurden an der Strahllinie ID13 an der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grenoble, Frankreich, durchgeführt. Zum ersten Mal überhaupt wurden hierbei gekreuzte keilförmige Linsen getestet (Röntgenenergie 10,5 keV, Brennweite 6,6 mm, Zonennummern 850-7850, Gesamtdicke 53 μm , Material WSi_2/Si).

Für die Fokussierungsexperimente wurde eine Apertur von 15 μm genutzt. Die Größe des Fokus wurde in beiden Richtungen mit unter 45 nm gemessen. Die Effizienz beträgt 20 Prozent. Die Effizienz ist damit deutlich größer, als für bisher vermessene verkippte Linsen und bewegt sich nahe an dem theoretisch erreichbaren Wert.

Teile der hier vorgestellten Arbeiten wurden unterstützt durch die Europäische Union (ERDF) und den Freistaat Sachsen im Rahmen des Projektes ENano (FKZ: 1000 87859). Das Fraunhofer IWS dankt dem Fraunhofer IKTS-MD und dem Lehrstuhl Strukturphysik kondensierter Materie der Technischen Universität Dresden.

- 2 Fokussierung durch eine Multi-schicht-Laue-Linse
- 4 Experimentelles Ergebnis: Intensität des Fokus für ein Paar gekreuzter keilförmiger Multi-schicht-Laue-Linsen

KONTAKT

Dipl.-Phys. Adam Kubec
 Telefon: +49 351 83391-3572
adam.kubec@iws.fraunhofer.de



**ABTEILUNGSLEITER
PROF. DR. STEFAN KASKEL**



»Dem Anwenden muss das Erkennen vorausgehen.«

Max Planck



GESCHÄFTSFELD CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND REAKTIONSTECHNIK

Redaktion: Herr Professor Kaskel, warum arbeiten Sie so intensiv an Schwefel-Batterien?

Prof. Kaskel: Bei den Elektrodenmaterialien machen heutzutage Elemente wie Kobalt aber auch Lithium bis zu 40 Prozent der Zellenmaterialkosten aus. Das bedeutet, es gibt einen hohen Bedarf nach alternativen Elektrodenmaterialien, welche kostengünstig zur Verfügung stehen. Schwefel ist ein Abfallprodukt der chemischen Industrie, welches im Mittleren Osten in großen Massen anfällt. Das macht Natrium- und Lithium-Schwefel-Batterien extrem kostengünstig. Zudem ist die theoretische Kapazität von Schwefel 1600 mAh/g und damit deutlich höher als die Kapazität klassischer Kathodenmaterialien, wie z. B. NMC.

Mittelfristig ist durch die Entwicklung von Lithium-Schwefel-Batterien eine Steigerung der Energiedichte um einem Faktor 2 zu erwarten. Es sind hier noch entscheidende Herausforderungen zu bewältigen, insbesondere die geringe Zyklenstabilität der Lithium-Schwefel-Batterie. Kommerzielle Produkte können heute nur bis 50 Zyklen erreichen. In den letzten Jahren ist es uns aber gelungen, durch Entwicklung alternativer Anodenmaterialien, bis zu 4000 Zyklen realisieren zu können. Dies ist sicher ein Meilenstein im Bereich der Schwefel-Batterien.

Redaktion: Welche Applikationen sehen Sie dort vorrangig?

Prof. Kaskel: Zum einen natürlich die Elektromobilität, die sich nicht nur auf Elektrofahrzeuge / Automobile, sondern auch auf Kleinfahrzeuge und elektrisch betriebene Fahrräder ausdehnen kann. Dies ist sicherlich ein Zukunftsmarkt. Zudem werden aber auch immer neue Anforderungen an stationäre Energiespeicher gestellt, um die Energiewende bewältigen

und die hohen Stromspitzen, die durch Verwendung von regenerativen Energien anfallen, abfedern zu können. In diesem Sinne ist in den nächsten Jahren sicher davon auszugehen, dass sich der Markt der Batterien positiv entwickeln wird.

Redaktion: Stellt das nicht auch hohe Anforderungen an neue Produktionsmethoden?

Prof. Kaskel: Ja genau. Die Entwicklung neuartiger Produktionsmethoden ist essentiell, um die Kosten neuartiger Batteriesysteme reduzieren zu können. Ebenso das Prozess-Monitoring - also die effiziente Kontrolle von Produktionsabläufen (insbesondere mit optischen Technologien) ist entscheidend für weitere Entwicklungen. Hier konnten wir in den letzten Jahren ganz neue Technologien (wie z. B. das sogenannte Hyperspectral Imaging) als eine neue Methode zur flächendeckenden Schichtanalytik etablieren. Mit dieser Methode kann man chemische Analysen orts aufgelöst auf großen Flächen durchführen.

Genauso wichtig sind aber auch neue Produktionsmethoden wie z. B. das Laserschneiden von Elektroden und Fügeprozesse, die es ermöglichen, Kupfer- und Aluminiumableiter mit geringen Kontaktwiderständen zu verknüpfen. In diesem Sinne kommt der parallelen Entwicklung neuer Materialien, neuer Herstellungsprozesse und Anlagentechnik eine Schlüsselrolle in der Entwicklung neuer Batteriesysteme zu.



KOMPETENZEN

CHEMISCHE OBERFLÄCHENTECHNOLOGIE

In der Arbeitsgruppe Chemische Oberflächentechnologie werden Gasphasen- (CVD) und Flüssigphasen-Verfahren für großflächige Beschichtungen entwickelt. Neben funktionalen Dünnschichten für leitfähige, kratzfeste, optische oder selbstreinigende Oberflächen bilden Elektrodenbeschichtungen für Energiespeicher einen thematischen Schwerpunkt. Wasserbasierte Beschichtungen im Rolle-zu-Rolle-Verfahren und lösungsmittelfreie Prozesse zur Elektrodenherstellung werden entwickelt für die kostengünstige Fertigung von Doppelschichtkondensatoren und Batterien. Im Fokus dieser Arbeitsrichtung steht die Lithium-Schwefel-Batterie als hochkapazitiver Speicher der nächsten Generation.

PLASMATECHNIK UND NANOMATERIALIEN

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 (CNTs). Speziell zur Synthese von einwandigen, defektarmen Single-Wall-CNTs wurde ein flexibles, kostengünstiges Hochrate-Syntheseverfahren entwickelt.

PROZESS-MONITORING

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.



ABTEILUNGSLEITER

PROF. STEFAN KASKEL

Telefon +49 351 83391-3331

stefan.kaskel@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

CHEM. OBERFLÄCHENTECHNOLOGIE

DR. HOLGER ALTHUES

Telefon +49 351 83391-3476

holger.althues@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

PLASMA- UND REAKTIONSTECHNIK

DR. GERRIT MÄDER

Telefon +49 351 83391-3262

gerrit.maeder@iws.fraunhofer.de



GRUPPENLEITER

PROZESS-MONITORING

DR. WULF GRÄHLERT

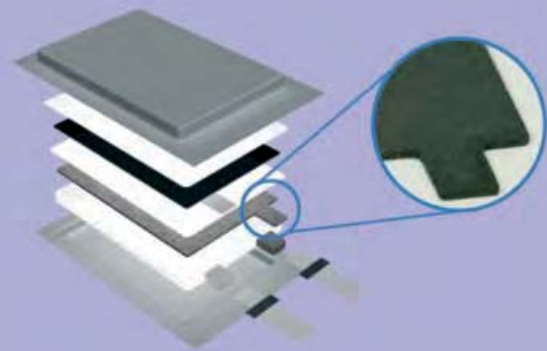
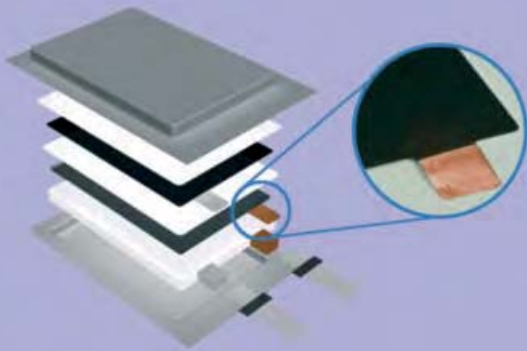
Telefon +49 351 83391-3406

wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de



BEISPIELE AUS DEN ARBEITEN 2014

- | | |
|--|-----|
| 1. Zellkonzepte für lithium- und natriumbasierte Sekundärbatterien | 110 |
| 2. Innovative Beschichtungen für Raumtemperatur-Natrium-Schwefel-Batterien | 112 |
| 3. Im Rolle-zu-Rolle-Verfahren zu transparenten elektrisch leitfähigen Oberflächen | 114 |
| 4. Recycling von Prozessgasen mit porösen Materialien | 116 |
| 5. Plasmabonden von Polymerfolien unter Atmosphärendruckbedingungen | 118 |
| 6. Automatisierte Materialerkennung mit spektraler Bildererkennung | 120 |



1

ZELLKONZEPTE FÜR LITHIUM- UND NATRIUMBASIERTE SEKUNDÄRBATTERIEN

DIE AUFGABE

Erklärtes Entwicklungsziel in der Batterieforschung ist es, die Speicherkapazitäten elektrischer Energiespeicher zu erhöhen. Primär muss dieser Weg über die Weiterentwicklung der aktiven Speicherkomponenten beschritten werden. Meilensteine sind dabei die Erhöhung der Energiedichte, hohe Lade- und Entladeraten sowie eine große Zyklenstabilität des möglichst intrinsisch sicheren Zellsystems.

Batterien sind heute primär als gewickelte Rundzellen verfügbar. Für größere Kapazitäten bieten sich prismatisch geformte Zellen an, deren Innenleben für gewöhnlich aus einem gewickelten oder gestapelten Elektrodenpaket besteht. In mobilen Endgeräten beispielsweise befinden sich solche, speziell auf das Design des Gerätes abgestimmte prismatische Wickelzellen.

Der Wunsch insbesondere für mobile Anwendungen ist, die elektrische Energie auf möglichst kleinem (Bau-)Raum zu speichern. Zudem sind für mobile Anwendungen das Zellgewicht und damit auch das Gewicht der Verpackung von besonderer Bedeutung. Bei stationären Anwendungen (z. B. ortsgebundene Speicherung von Solarstrom) spielt dies nur eine untergeordnete Rolle.

Für zukünftige Energiespeichersysteme, welche unterschiedlichsten Anforderungen gerecht werden sollen, können und müssen in Abhängigkeit von der Zellchemie neue Zellkonzepte erstellt werden.

UNSERE LÖSUNG

Ein innovativer Ansatz für zukünftige Zellkonzepte ist eine grundlegende Veränderung des Elektrodenaufbaus. Am Fraunhofer IWS Dresden wird deshalb untersucht, inwiefern eine Metallschaumstruktur, in welche das Aktivmaterial eingebracht wird, eine bessere Zellperformance liefern kann als Stromkollektorfolien aus Kupfer oder Alu, die mit Aktivmaterial beschichtet sind (Abb. 1). Im Rahmen der Verbundprojekte BamoSa (FKZ: 03X4637A-H) und BaSta (FKZ: 0325563A) wird dieses Konzept für zwei verschiedene Zellmaterialien, nämlich Lithium-Schwefel und Natrium-Schwefel bei Raumtemperatur gemeinsam mit weiteren sächsischen Forschungseinrichtungen und Universitäten erforscht.

Das neue, auf Metallschaum-Stromkollektor mit infiltriertem Aktivmaterial basierende, Elektrodenkonzept stellt neue Anforderungen an die Fertigungstechnologien. Der Zuschnitt solcher Elektroden erfolgt am IWS mittels Remote-Laserstrahlschneiden - bevorzugt vor der Beladung der Elektroden, um die Randzonenbeeinträchtigung zu reduzieren.

Zur Kontaktierung der Elektroden untereinander und der Ableitung des Stroms aus der Zelle wurden die beiden folgenden Lösungsschritte erarbeitet:

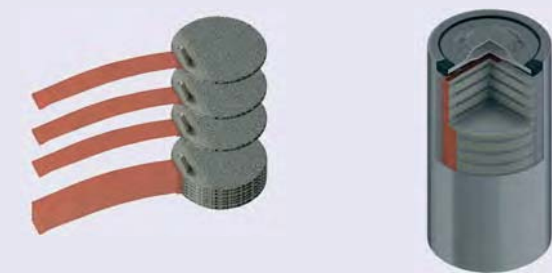
- a) Verpressen der Schaumelektroden, wobei ein Stromableiter zwischen die Elektroden gelegt und damit mechanisch verankert wird.
- b) Verschweißen der Elektroden und des Stromableiters mit einem Laser, um die mechanische Stabilität zu erhöhen und den Übergangswiderstand in der Verbindung zu reduzieren.



ERGEBNISSE

Batteriezellen mit einem derartigen Elektrodenaufbau können sowohl in prismatischen Hardcase-Zellen als auch Rundzellen (Abb. 2) verbaut werden. Für den Aufbau von Rundzellen, wie er beispielsweise bei Raumtemperatur-Natrium-Schwefelzellen für die stationäre Anwendung denkbar wäre, wurden weitere Verarbeitungsschritte entwickelt, erprobt und optimiert.

Kontaktierte Schaumelektrode und Einbau in runde Stapelzelle



2

Bei der Stapelung der Anoden- und Kathodenschaumelemente muss einerseits die Kontaktierung der einzelnen Elektroden untereinander gewährleistet werden, andererseits dürfen die beiden Elektroden über das metallische Gehäuse nicht kurzgeschlossen werden. Beim Einbringen der Elektroden in die Hülle darf es zudem nicht zu Materialverschleppungen kommen, die an dem Separator vorbei für einen Kurzschluss auf der Gegenelektrode sorgen würden.

Als Lösung für diese Aufgabe werden in Versuchszellen Schrumpfschläuche eingebaut, die mit ihrer speziellen Kontur die Elektroden seitlich stabilisieren und gleichzeitig gegenüber dem Gehäuse isolieren. Bei der Kontaktierung der Ableiterföhnchen mit den Gehäuseelementen kommt erneut das Remote-Laserstrahlschweißen zum Einsatz. Die kurze Einwirkzeit des Lasers verhindert die thermische Belastung der Elektroden und sorgt für eine perfekte elektrische Anbindung des Zellstapels.

Die Schweißbarkeit der eingesetzten Elektrodenschäume mit den metallischen Ableitern konnte erfolgreich nachgewiesen werden (siehe Seite 40/41).

Elektroden mit dem dargestellten Aufbau weisen aufgrund der Metallschaumstruktur einen sehr niedrigen Innenwiderstand auf. Die Beladung mit Aktivmaterial ist entsprechend der gewünschten Zelleigenschaften zu variieren und kann kundenspezifisch angepasst werden.

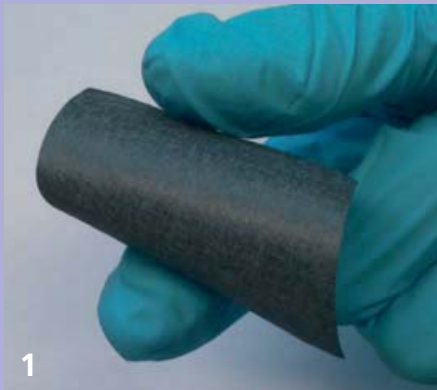
Die Alterungserscheinungen als Folge des komplexen Zusammenwirkens von Zellchemie (Aktivmaterialien, Elektrolyt) mit der Schaumstruktur und den potentiellen Stromkollektormaterialien gilt es, im Laufe der Projekte zu evaluieren. Zudem sind auch Parameter der Aktivmaterialienzusammensetzung noch nicht abschließend festgelegt, so dass in den verbleibenden Projektzeiträumen dieses Entwicklungsfeld zur Optimierung der Zelleigenschaften noch abzuschließen ist.

- 1 *links: Konventioneller Elektrodenstapel mit Cu- und Al-Stromkollektorfolien
rechts: Elektrodenstapel mit Schaumelektrode an Stelle der Cu-Anode*

KONTAKT

Dr. Philipp Thümmler
Telefon: +49 351 83391-3215
philipp.thuemmler@iws.fraunhofer.de





1



2

INNOVATIVE BESCHICHTUNGEN FÜR RAUM-TEMPERATUR-NATRIUM-SCHWEFEL-BATTERIEN

DIE AUFGABE

Natrium-Schwefel-Batterien werden seit ca. 20 Jahren als stationäre Speicher eingesetzt. Die Aktivmaterialien Natrium und Schwefel sind weltweit reichlich und kostengünstig verfügbar. Nachteil dieser Technik ist, dass die Natrium-Schwefel-Batterie auf Temperaturen über 300 °C erhitzt werden muss, damit Natrium, Schwefel und die Entladeprodukte dieser beiden Stoffe in flüssiger Form vorliegen. Die Notwendigkeit solch einer hohen Temperatur führt wegen der benötigten Wärme zu einer geringen Energieeffizienz des Speichers sowie zu einem erheblichen Sicherheitsrisiko durch das flüssige Natriummetall.

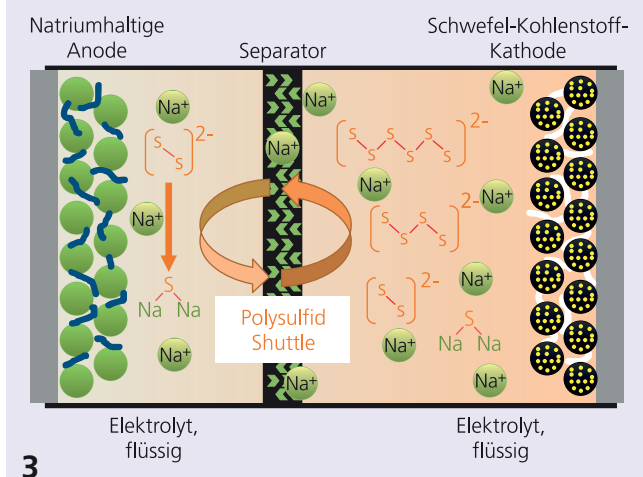
Die theoretisch erreichbare spezifische elektrochemische Kapazität von Schwefel beträgt 1672 mAh/g, eine vollständige Entladung des Schwefels zu Na_2S vorausgesetzt. Dies ist das 7-Fache von Standard-Lithium-Ionen-Kathoden-Aktivmaterialien. Jedoch können bei der Hochtemperatur-Natrium-Schwefel-Batterie nur etwa 25 Prozent (418 mAh/g) der theoretischen Kapazität ausgenutzt werden. Dies liegt daran, dass nur Polysulfide bis Na_2S_4 einen Schmelzpunkt von unter 300 °C besitzen. Die Bildung längererkettiger Entladeprodukte in der Batterie würde zu einem Ausfallen der Produkte und zu einer nicht-reversiblen Kapazität führen.

Eine bei Raumtemperatur arbeitende Natrium-Schwefel-Batterie kann potentiell die Vorteile der kostengünstigen Ausgangsmaterialien nutzen und die Nachteile der hohen Temperatur umgehen. Die Entwicklung dieses neuen Batterie-Typs ist die Aufgabe des Verbundprojektes BaSta (FKZ: 0325563A). Fünf Dresdner Forschungsinstitute arbeiten an neuen Batterie-Komponenten und Fertigungsverfahren für die Raumtemperatur-Na-S-Batterie.

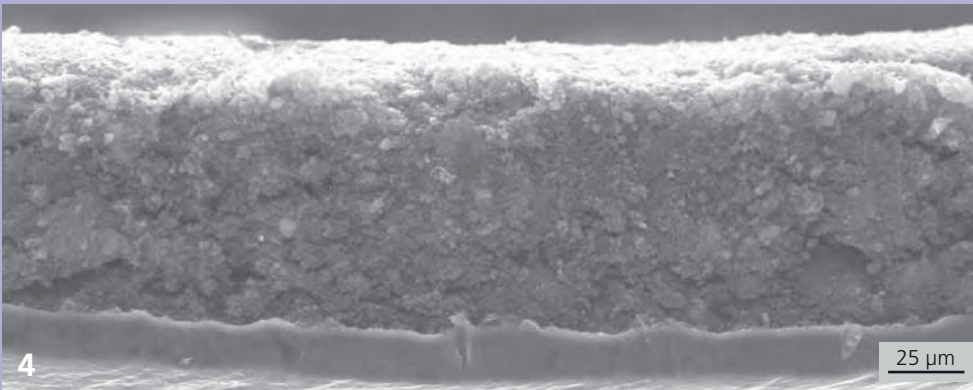
UNSERE LÖSUNG

Schlüsselkomponente der Dresdner Lösung ist eine Kohlenstoff-Schwefel-Komposit-Elektrode. Die Schwefelmoleküle werden in die Poren des Kohlenstoffmaterials eingeschmolzen und dadurch elektrisch kontaktierbar. Durch einen lösungsmittelfreien Prozess wird aus dem Schwefel-Kohlenstoff-Komposit-Pulver und einem Binder ein freistehender Elektrodenfilm erzeugt. Der Einsatz von toxischen Lösungsmitteln und aufwendigen Trocknungsprozessen wird somit vermieden. Für den Transport von Natriumionen wird in der Raumtemperatur-Na-S-Zelle ein Flüssigelektrolyt eingesetzt.

Schematische Abbildung einer Raumtemperatur-Natrium-Schwefel-Batterie



Gelangen die in der Kathode enthaltenen Polysulfide durch Diffusion zur Anode, führen diese zu einer Verringerung der Ladeeffizienz und einer starken Degradation der Zelle. Daher werden im Rahmen des BaSta-Projektes verschiedene Barrierefilme auf Separator oder Anode untersucht, die die Reaktion

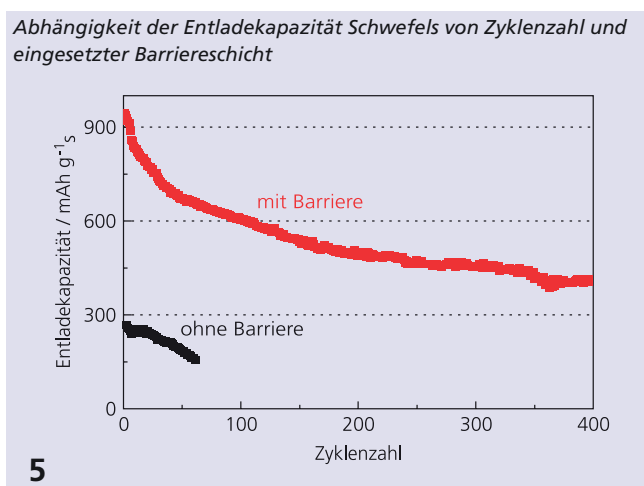


von Polysulfiden an der Anode verhindern und den Polysulfidshuttle unterdrücken.

ERGEBNISSE

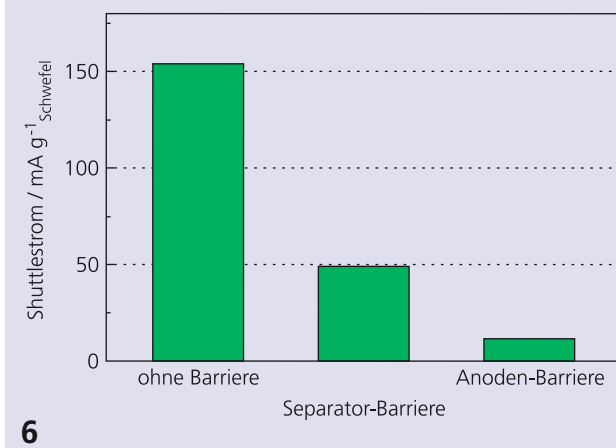
Es wurden Natrium-Schwefel-Zellen mit und ohne Barriere-schicht für den Betrieb bei Raumtemperatur aufgebaut und untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich Entladekapazität und Zyklenstabilität der Zelle durch die Barrierschicht drastisch erhöhen (Abb. 5). In den ersten Zyklen wurde eine spezifische Kapazität von über 900 mAh/g nachgewiesen, was eine Verdopplung der nutzbaren Kapazität der Hochtemperatur-Na-S-Batterie darstellt. Selbst nach 400 Zyklen wurde noch eine Kapazität von über 400 mAh/g gemessen.

Anhand von cyclovoltammetrischen Untersuchungen und den dabei auftretenden Strömen konnte festgestellt werden, dass der Polysulfidshuttle durch Aufbringung der Barrierschichten quantifizierbar sinkt (Abb. 6).



Diese ersten Ergebnisse belegen, dass durch ein neues Zellkonzept die Natrium-Schwefel-Batterie auch bei Raumtemperatur einsetzbar sein kann. Durch Weiterentwicklung der Schlüsselkomponenten und der Zelle als Gesamtsystem sollen Kapazität und Zyklenstabilität weiter verbessert werden.

Abhängigkeit Shuttlestromstärke von eingesetzter Barrierschicht



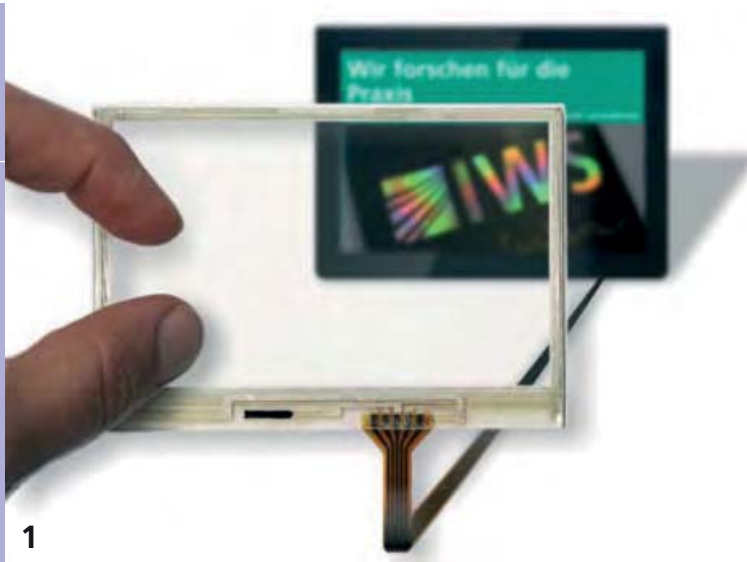
Für einen kostengünstigen Energiespeicher sind neben dem Einsatz verfügbarer Rohstoffe auch effiziente und skalierbare Produktionsverfahren zu entwickeln. Die lösungsmittelfreie Fertigung der Kathoden ist ein Schritt zu diesem Ziel. Weitere fertigungstechnische Ansätze werden von den Projektpartnern im BaSta-Projekt verfolgt. Erste Ergebnisse sind auf den Seiten 40/41 sowie 110/111 beschrieben.

- 1 Kohlenstoff-Elektrode
- 2 Am Fraunhofer IWS hergestellte Pouchzelle
- 4 REM-Aufnahme einer Kohlenstoff-Elektrode im Querschnitt

KONTAKT

M.Sc. Michael Kohl
 Telefon: +49 351 83391-3724
 michael.kohl@iws.fraunhofer.de





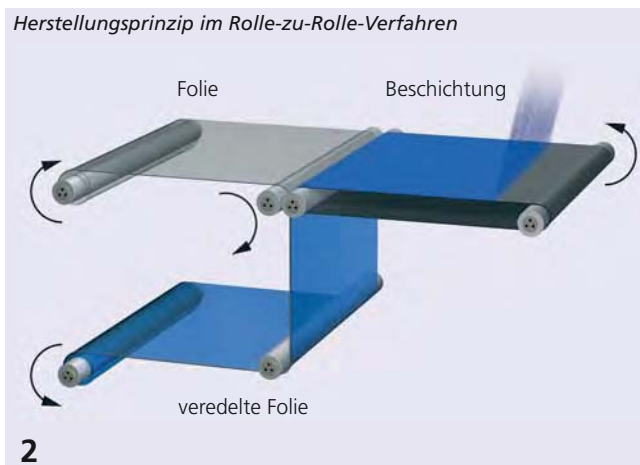
1

IM ROLLE-ZU-ROLLE-VERFAHREN ZU TRANSPAREN- RENTEN ELEKTRISCH LEITFÄHIGEN OBERFLÄCHEN

DIE AUFGABE

Die Oberflächenveredelung von Polymerfolien erschließt neue Anwendungsfelder und nimmt daher immer mehr eine Schlüsselrolle in der kunststoffverarbeitenden Industrie ein. Gerade für transparente, elektrisch leitfähige Folien gibt es viele Anwendungsfelder, sei es in antistatischen Verpackungen oder in elektrooptischen Bauteilen.

Bisher wurden die gewünschten elektrischen Oberflächeneigenschaften durch Additive im Grundwerkstoff oder durch nachgelagerte Beschichtungsprozesse erreicht. Während bei Additiven im Werkstoff ein größerer Materialverbrauch und auch negative Einflüsse auf die Verarbeitbarkeit und vor allem auf die Eigenschaften des Kunststoffs resultieren, sind nachträgliche Beschichtungen mit erheblichen Zusatzkosten verbunden. Einerseits werden an die Schichtqualität allerhöchste Ansprüche gestellt, andererseits sind die Beschichtungsmethoden durch die Temperatursensitivität der Polymerfolien sehr stark limitiert. Gesucht werden somit Technologien, die die bestehenden Hemmnisse überwinden.



2

UNSERE LÖSUNG

Mit einem neuen Verfahren zur Integration von funktionalen Nanomaterialien in Polymeroberflächen werden am Fraunhofer IWS Dresden die Grenzen bestehender Methoden zur Oberflächenveredelung überwunden. Möglich ist dies, indem die Schichtabscheidung vom zu beschichtenden temperatursensitiven Polymersubstrat getrennt wird. Dadurch können bestehende Beschichtungsverfahren (CSD, CVD) mit etablierten Prozessbedingungen (z. B. Temperaturen) zur Erzeugung von hochleitfähigen Materialien weiter genutzt werden. Die abgeschiedene Schicht wird nachträglich auf die Polymerfolie übertragen (siehe Abb. 2).

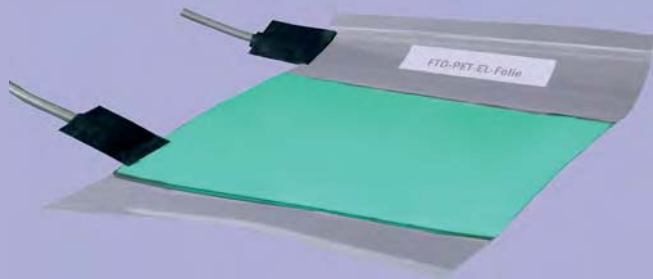
Mit dem Integrationsverfahren wird ein breites Spektrum an Eigenschaften und Funktionen ermöglicht. Geringer Materialverbrauch und minimale Beeinflussung der Polymereigenschaften sind weitere Vorteile des Verfahrens.

Um elektrisch leitfähige und dabei transparente polymere Oberflächen zu erzeugen, wurden drei Ansätze verfolgt:

- Integration durch Transfer von leitfähigen **Partikeln**, wie z. B. ITO oder Silber
- Integration durch Transfer von **Netzwerken**, wie z. B. Silberdrähte oder CNTs
- Integration durch Transfer von **Schichten**, wie z. B. FTO oder ATO.

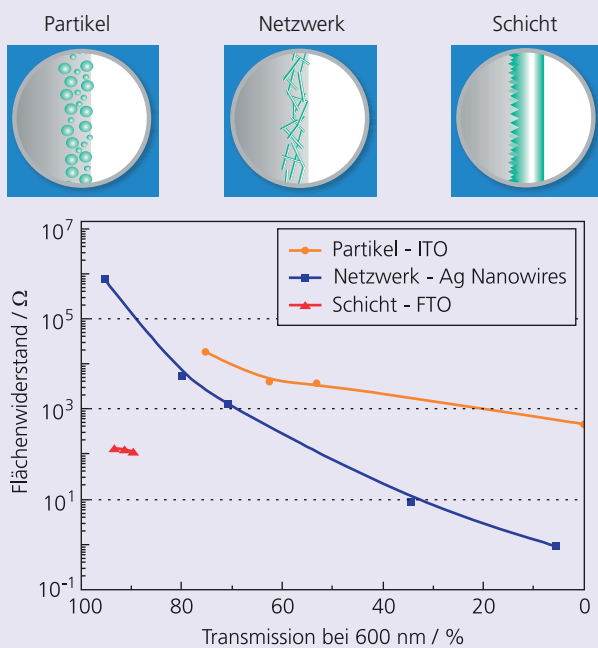
ERGEBNISSE

Die mechanische Stabilität der mit oben genannten Ansätzen integrierten Materialien wurde mittels Abriebtests nachgewiesen. Abbildung 3 zeigt die Leitfähigkeit und Transparenz der verschiedenen Materialien nach der Integration im Rolle-zu-Rolle-Verfahren.



5

Transmissions- und Widerstandsmessungen verschiedener, auf Polymerfolie übertragener Materialien



3

Abbildung 4 zeigt eine elektronenmikroskopische Querschnittsaufnahme von PET-Folie mit eingelagerten Silber-Nanodrähten. Man erkennt eine gute Anbindung und Integration der Materialien in die Polymeroberfläche.

REM-Aufnahme von PET-Folie mit eingelagerten Silber-Nanodrähten



4

Für antistatische Produkte sind Oberflächenwiderstände > 100 kOhm ausreichend. Diese können durch die Integration von leitfähigen Partikeln oder Netzwerken aus leitfähigen

Nanoröhrchen oder -drähten in die Polymeroberfläche eingestellt werden. Diese äußerst kostengünstige Methode erfordert nur minimalen Materialeinsatz (< 0,01 g pro Quadratmeter) und die temporäre Schicht ist durch einfache Sprühprozesse aus der Partikel-Suspension darstellbar.

Für elektrooptische Bauteile (Elektrolumineszenz, Touchpanel) werden deutlich geringere Schichtwiderstände (< 200 Ohm) bei gleichzeitig hoher Transparenz (> 85 Prozent) benötigt. Da kompakte Schichten, im Vergleich zu Netzwerken bzw. Partikeln, den größeren Leitungsquerschnitt besitzen, kann mit der im IWS transferierten FTO-Schicht der geringste Flächenwiderstand erreicht werden. Die Transparenz im sichtbaren Wellenlängenbereich wird dabei durch das halbleitende Zinnoxid gewährleistet. Somit konnten erstmals erfolgreich Touchpanels als auch Elektrolumineszenz-Bauteile auf Basis von FTO-PET-Folien hergestellt werden (siehe Abb. 1 und 5).

Die Ergebnisse zeigen die breite Einsetzbarkeit des Verfahrens hinsichtlich der Struktur der in die Kunststoffoberfläche übertragbaren Schichten. Durch weitere funktionelle anorganische Nanomaterialien lassen sich mit dem Transfer-Prozess optische, elektrische, chemische und mechanische Oberflächeneigenschaften von Polymerfolien gezielt einstellen.

Die hier vorgestellten Demonstratoren entstanden im BMBF-Verbundprojekt SubITO (FKZ: 033R082A).

- 1 Touchpanel auf Basis einer FTO-PET Folie
- 5 Elektrolumineszenz-Folie mit transparenter FTO-PET-Frontelektrode

KONTAKT

Dipl.-Ing. Thomas Abendroth
 Telefon: +49 351 83391-3294
 thomas.abendroth@iws.fraunhofer.de



1

RECYCLING VON PROZESSGASEN MIT PORÖSEN MATERIALIEN

DIE AUFGABE

Atmosphärendruck-Plasmen (AP) zeichnen sich durch die Möglichkeit der Behandlung von empfindlichen Materialien sowie der technisch einfach umsetzbaren in-line-Integration in bestehende Prozesse aus. Bisher werden sie vornehmlich zur potentialfreien Vorbehandlung von Oberflächen im Bereich der Reinigung bzw. Aktivierung eingesetzt. Die Abscheidung von Schichten bzw. die Erzeugung von Nanopartikeln mit Hilfe der AP-Technologie stellt zum jetzigen Zeitpunkt noch eine Nischenanwendung dar. Der im Vergleich zu Niederdruck-Prozessen hohe Verbrauch von Inertgasen bei AP-Prozessen ist ein enormer Kostentreiber, der die Etablierung der AP-Technologie erschwert.

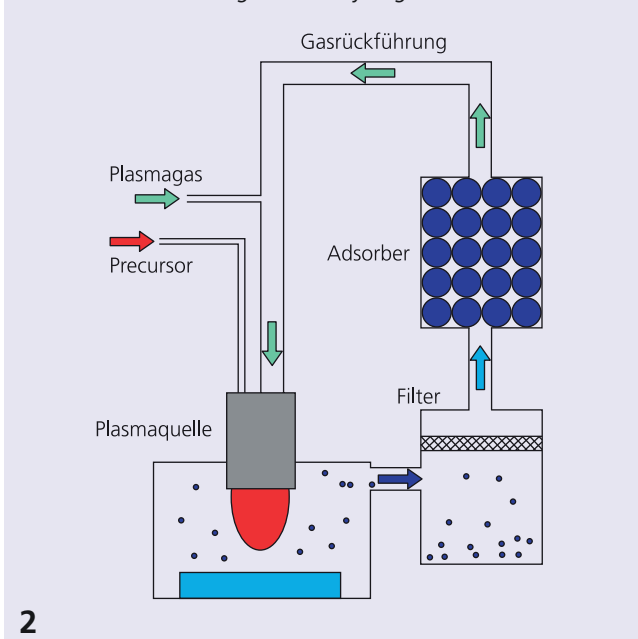
Insbesondere im Bereich der Abscheidung von nichtoxidischen Schichten oder der Erzeugung von Nanopartikeln (z. B. SiC oder Si₃N₄) ist der Einsatz von kostenintensiven Inertgasen (z. B. Argon) zur Erzeugung des Plasmas unabdingbar. Damit wird für den ökonomischen Betrieb die Reinigung und Rückführung dieser Gase essentiell. Wird wie im Bereich der Oberflächenaktivierung Druckluft an Stelle der inerten Plasmagase verwendet, entstehen während des Prozesses u. a. verschiedenartige Stickoxide. Sie stellen einerseits eine Geruchsbelästigung und andererseits eine Gefahr für die Gesundheit des Anwenders dar. Eine Reinigung des Abgases ist somit unabdingbar.

UNSERE LÖSUNG

Ein modularer Aufbau aus den Komponenten Absaug- bzw. Filtereinheit und Gasrückführung ermöglicht die Anpassung eines Gasrecycling-Systems auf verschiedene Atmosphärendruck-Plasmaquellen. Ziel ist einerseits die vollständige

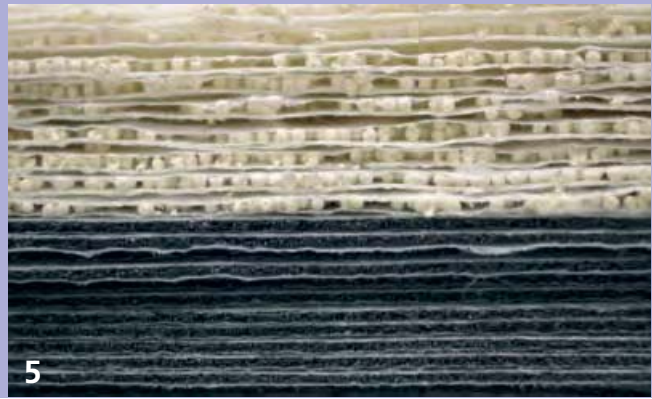
Abtrennung der Nanopartikel durch einen Partikelfilter sowie andererseits die effiziente Entfernung der gasförmigen Nebenprodukte durch Adsorption an porösen Materialien aus dem Effluent-Strom (Abb. 2).

Schematische Darstellung des Gasrecycling



2

Um den Effluent-Strom durch Adsorption an porösen Materialien zu reinigen, bedarf es zunächst der Abtrennung der auftretenden Partikel mit Hilfe eines geeigneten Partikelfilters. Damit wird ein Blockieren der Poren und in der Folge eine Verschlechterung der Adsorptionskapazität vermieden. Die Wahl des richtigen Partikelfilters basiert auf den Erkenntnissen der Partikelgrößenverteilung, die mit Hilfe eines SMPS-Systems (SMPS = Scanning Mobility Particle Sizer) bestimmt wird. Die Abgaszusammensetzung bzw. die Bestimmung der aus dem Gasgemisch zu entfernenden Spezies erfolgt mit IR-spektro-



skopischen Methoden (FTIR). Sind die anfallenden Abgaspezies bekannt, können auf dieser Basis geeignete Adsorbentien ausgewählt und modular in die Adsorberkartusche integriert werden.

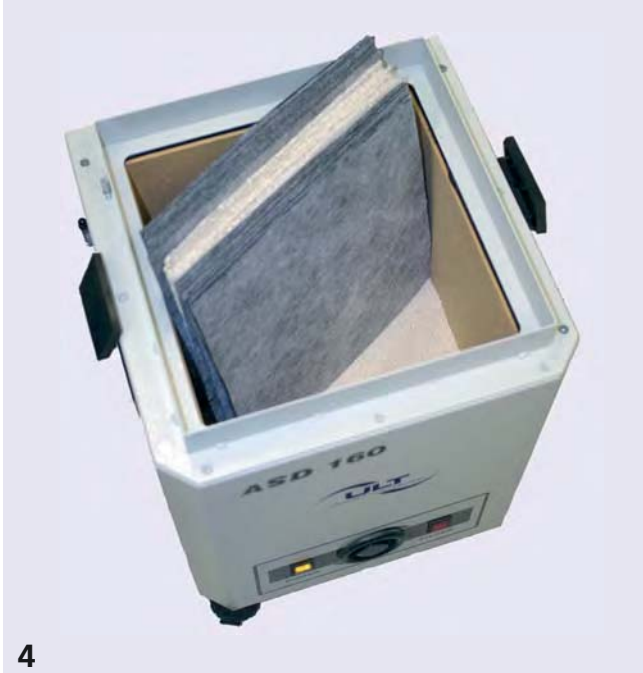
ERGEBNISSE

Mit den Ergebnissen der Partikelcharakterisierung sowie der Abgasanalyse wurden die Filtereinheit und die Adsorberkartusche individuell an einen AP-Prozess angepasst. Für die Wahl der Adsorbentien steht eine Vielzahl kommerziell zugänglicher Materialien wie Zeolithe oder Aktivkohlen zur Verfügung. Durch die Kombination dieser verschiedenen Klassen poröser Materialien lassen sich Gase unterschiedlicher Charakteristika (z. B. polare und unpolare Substanzen, Moleküle mit geringem und hohem Durchmesser) aus dem Gasgemisch entfernen. Neben der Adsorption besteht zusätzlich die Möglichkeit, Katalysatoren in die Adsorberbettschüttung zu integrieren. Mit Hilfe katalytisch aktiver Materialien können schlecht adsorbie-

rende Substanzen in Verbindungen umgewandelt werden, die gute Adsorptionseigenschaften mit gängigen Adsorbentmaterialien zeigen. Die Anordnung der Adsorber/Katalysatoren in der Kartusche kann als lose Schüttung (Abb. 3) oder in Form von sogenannten Flachmedien erfolgen (Abb. 4 und 5). Das Nutzen von Flachmedien ermöglicht ein einfaches Austauschen und Recycling bzw. Entsorgung der gesättigten Adsorber.

Durch den Einsatz eines Partikelfilters und der Adsorberkartusche ist es möglich, die Prozessgase mit entsprechender Reinheit im laufenden Arbeitsbetrieb der Gasversorgung der Plasmadüse wieder zuzuführen. Somit wird der Verbrauch an Frischgas verringert. Neben dem Einsatz als Gasrecyclingeinheit kann die Kombination aus Partikelfilter und Adsorberkartusche auch als Reinigungseinheit gesehen werden, welche die Abluft geruchsneutral und für den Anwender gesundheitlich unbedenklich in den Arbeitsraum abgibt.

Kommerzielle Absaugeinheit mit verschiedenen porösen Materialien als Flachmedien



- 1 *Schematische Darstellung des Adsorptionsprozesses*
- 3 *Adsorberschüttung (Zeolith)*
- 5 *Adsorber Flachmedien (Zeolith/Aktivkohle)*

KONTAKT

Dr. Nicole Klein
 Telefon: +49 351 83391-3563
 nicole.klein@iws.fraunhofer.de



PLASMABONDEN VON POLYMERFOLIEN UNTER ATMOSPÄRENDRUCKBEDINGUNGEN

DIE AUFGABE

Das Fügen von Polymerfolien zu multifunktionalen Einheiten bietet ein großes Potenzial für Anwendungen der Optik, der Mikrofluidik, dem Umweltmonitoring und der Prozessanalytik. Insbesondere im Bereich der Mikrofluidik hat das Konzept vom »Labor-auf-dem-Chip« (engl. Lab-on-a-Chip) einen geradezu revolutionären Trend in der Analytischen Chemie eingeleitet. Er zielt auf die immer weiterführende Miniaturisierung der chemischen Analyse verschiedener Flüssigkeiten im Life-Science-Bereich verbunden mit der Forderung nach einem hohen Durchsatz-Screening mittels extrem kleiner Probevolumina.

Für die Herstellung solcher Lab-on-a-Chip-Systeme werden speziell präparierte Polymerfolien passgenau beispielsweise durch Ultraschallschweißen oder Kleben zusammengefügt. Mit diesen etablierten Füge-technologien ist die Herstellung von Mehrlagen-Stacks jedoch schwierig, die Biokompatibilität des Klebstoffs ist häufig nicht gegeben. Das Fraunhofer IWS hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, eine effektive, großflächige und biokompatible Fügemethode für das Fügen von Polymerfolien zu entwickeln, die auf einer Oberflächenfunktionalisierung der Polymerfolien basiert.

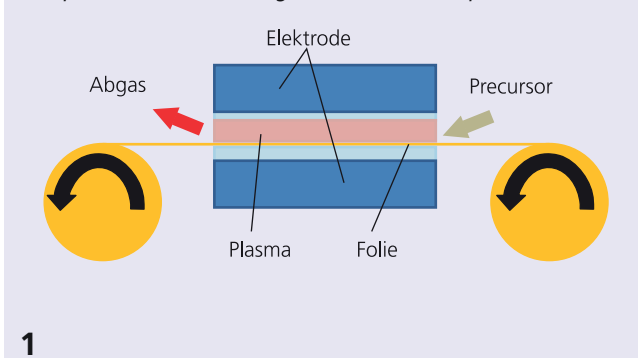
UNSERE LÖSUNG

Bei dem klebstofffreien Bonden von Polymerfolien werden auf den zu fügenden Polymeren unterschiedliche funktionelle Gruppen aufgebracht. In einem anschließenden Bondprozess erfolgt eine chemische Reaktion beider Gruppen zu einer dauerhaften Verbindung.

Für die Oberflächenfunktionalisierung wurde am Fraunhofer IWS ein speziell an die Applikation angepasstes Atmosphärendruck-Plasmaverfahren entwickelt und getestet. Die Polymerbehandlung erfolgt durch ein Hochleistungsplasma (Dielektrische-Barriere-Entladung, DBD) in Verbindung mit den entsprechenden Precursoren zur Oberflächenfunktionalisierung. Hierzu werden die verdünnten Precursoren mittels eines Trägergases in unmittelbarer Nähe zur Folienoberfläche einem Argon-Direktplasma zugeführt und nach erfolgter Funktionalisierung wieder abgesaugt.

Für eine ausreichende Precursoraufspaltung unter Atmosphärendruck-Bedingungen waren unter anderem ein Neudesign der Plasmaelektroden sowie eine deutliche Frequenzerhöhung der Hochspannungsversorgung der Plasmaquelle notwendig. Hinsichtlich der Optimierung der Gasströmung innerhalb des Entladungsspaltzes wurden die Länge und der Abstand der Elektroden so optimiert, dass innerhalb des filamentierten Plasmas eine homogene, vollflächige Folienbehandlung erfolgt. Eine parasitäre Beschichtung der Elektroden wird durch eine spezielle Schichtgasströmung des Precursors an der Folienoberfläche reduziert, wodurch eine langzeitstabile Folienbehandlung erreicht werden kann.

Prinzip der Folienbehandlung für einen Einseitenprozess



Das IWS-Funktionalisierungsverfahren ist durch folgende Vorteile gekennzeichnet:

- Atmosphärendruck-Prozess (einfache Integration in vorhandene Anlagen zur Folienherstellung),
- schonende, zerstörungsfreie Folienbehandlung,
- einfache Skalierbarkeit,
- vollflächige, homogene Behandlung,
- unterschiedliche Funktionalisierung für Folienvorder- und rückseite möglich,
- Möglichkeit eines Rolle-zu-Rolle-Prozessierens,
- Möglichkeit einer vorgelagerten Laserstrukturierung innerhalb eines Rolle-zu-Rolle-Prozesses,
- hohe Effektivität / Durchsatz durch Prozesszeiten im Sekundenbereich,
- Einsatz nicht toxischer Precursoren.

ERGEBNISSE

Das vom IWS entwickelte Funktionalisierungsverfahren konnte an Polymerfolien unterschiedlicher Dicke erfolgreich angewendet werden. Aufgrund der »kalten Plasmaentladung« werden auch nur wenige µm dicke Folien thermisch nicht geschädigt. Infolge der effizienten Precursoraufspaltung liegen die Prozesszeiten im Bereich von wenigen Sekunden.

Nach der Plasmabehandlung wurden die Folien mit leichtem Druck zusammengefügt. Während des Fügens kommt es aufgrund der Funktionalisierung zu einer chemischen Reaktion der Folienoberflächen, welche in einer dauerhaften, flüssigkeitsresistenten Verbindung der Folien resultiert. Das gewählte Oberflächenfunktionalisierungssystem erwies sich als unempfindlich gegenüber Umgebungseinflüssen, so dass ein Fügen der Folien auch mehrere Stunden nach deren Funktionalisierung, ohne eine Einschränkung der Haftung, möglich ist.

Das Plasmabonden von Polymerfolien eignet sich ideal als preiswertes Fügeverfahren für die Herstellung von Lab-on-a-Chip-Systemen. Deshalb wurde die Technologie in Zusammenarbeit mit der IWS-Arbeitsgruppe Mikrostrukturieren für das Fügen lasermikrostrukturierter Folien zum Aufbau eines Multilagen-Mikrofluidiksystems angewandt. Die Multilagentechnologie ermöglicht neben pneumatisch aktuierten Mikropumpen und Ventilen die Realisierung fluidischer Strukturen und Kreislaufsysteme, die sich über mehrere Ebenen auf dem Bio-Chip erstrecken (siehe Seite 82/83).

Die Oberflächenfunktionalisierung bietet neben der flächigen und flüssigkeitsdichten Verbindung zusätzlich optimale Voraussetzungen für das Wachstum entsprechender Zellkulturen bei Lap-on-a-Chip-Anwendungen. Weiterhin können gegenüber den etablierten Fügeverfahren Prozessschritte eingespart bzw. die Fertigungszeit signifikant verkürzt werden.

2 Plasma-Polymerfolienbehandlung mit Hochleistungs-DBD (Zweiseitenprozess)

KONTAKT

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





1

AUTOMATISIERTE MATERIALERKENNUNG MIT SPEKTRALER BILDERKENNUNG

DIE AUFGABE

Recycling und Rohstoffrückgewinnung sind aufgrund der stetig steigenden Primärrohstoffkosten eines der großen Themen unserer Zeit. Polymere eignen sich für geschlossene Stoffkreisläufe, solange diese mit einer hohen Reinheit von mehr als 99,9 Prozent für den Wiedereinsatz vorliegen. Eine präzise, automatisierte Materialerkennung und -klassifikation sowie eine darauf basierende Materialausschleusung ist für ein effektives Recycling demnach unerlässlich.

Die Anforderungen steigen deutlich, wenn schwarze Polymere vorliegen und bewertet werden müssen. Diese entziehen sich weitestgehend einer optisch-spektroskopischen Untersuchung, da sie auftreffende Strahlung fast vollständig absorbieren und nur einen sehr geringen Teil reflektieren. Neben einer zuverlässigen Klassifizierung der Materialien muss das Erkennungssystem zudem in der Lage sein, die Zuordnung zum Polymertyp schnell zu treffen. Andernfalls können Verzögerungen zwischen Erkennung und Reaktion des Prozesses auftreten, wobei die Prozessreaktion in diesem Fall die Sortierung der Polymerteilchen ist.

UNSERE LÖSUNG

Auf Basis bildgebender Spektrometrie – dem Hyperspectral Imaging (HSI) – ist eine Klassifizierung von bunten und schwarzen Polymeren auf einer Fördereinheit möglich. Die Arbeitsbreite des Fördersystems kann dabei vollständig erfasst werden.

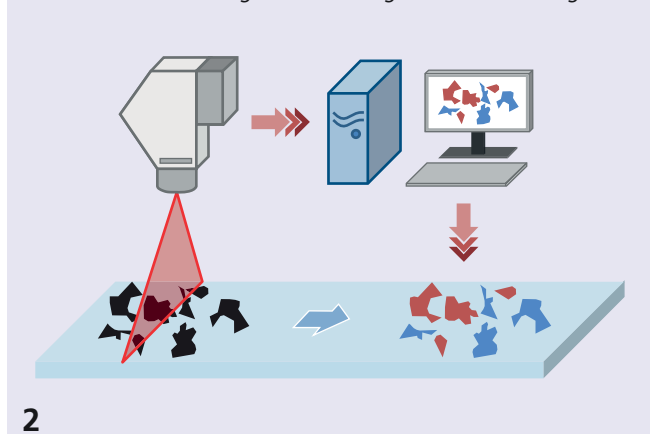
Grundsätzlich ist das Hyperspectral Imaging durch Kombinationen aus Objektiv, Spaltbreite und Arbeitsabstand sehr

flexibel und vielfältig einsetzbar. Die hohen Aufnahme- und Datenraten von mehr als 60.000 Spektren pro Sekunde erfordern zudem eine leistungsfähige Auswertung.

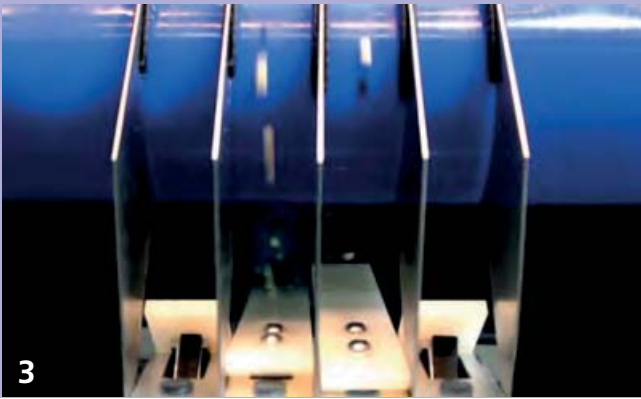
Für die präzise, automatisierte Erkennung und Klassifikation von schwarzen Polymeren wurde – neben der Adaption des HSI-Systems – zunächst eine geeignete Probenbeleuchtung realisiert und das Förderbandmaterial den Erfordernissen angepasst. Das Material darf dabei selbst keine spektrale Absorption aufweisen, da dies die Erkennung der Polymere erschwert. Die aufgezeichneten Spektren wurden anschließend mit vorab trainierten statistischen Modellen ausgewertet. Dabei wurden Stützvektormethoden (SVM) und Diskriminanzanalysen (DA) verwendet.

Durch Einsatz der am Fraunhofer IWS Dresden entwickelten prozessoroptimierten Software **imantopro** konnte die Klassifizierung der Polymerpartikel in Echtzeit vorgenommen werden. Die Informationen zu jedem Polymerteilchen (Polymertyp, Zeitstempel und Ortsinformation) wurden nachfolgend an eine SPS-Einheit zur Steuerung der Ausschleusung übergeben.

Schematische Darstellung der Erkennung und Klassifizierung



2



ERGEBNISSE

Mit leistungsfähigen multivariaten, statistischen Erkennungsmethoden können Sortieraufgaben für bunte und auch schwarze Polymere gelöst werden. Sowohl die Anforderungen an die Prozessgeschwindigkeit als auch an die Reinheit der Polymere werden erreicht. Auch weitere Randbedingungen, wie die automatische Erkennung des Förderbandmaterials oder die Bewertung der Spektrengüte, sind in Echtzeit realisierbar.

Eine pixelweise Validierung der multivariaten Modelle zeigte, dass die geforderte Reinheit der Polymere oft nicht direkt erreicht werden kann. Die statistische Sicherheit kann jedoch durch eine Erhöhung der Pixel- bzw. Spektrenanzahl pro Partikelteilchen hinreichend erhöht werden. Nachfolgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Ergebnisse der Modellparameter.

Ergebnisse der Modellvalidierungen von zwei verschiedenen Kunststoffchargen

Modell	Charge 1	Charge 2
Polymere	TPE weiß POM gelb TPE schwarz	PA66 schwarz POM schwarz
multivariate Methode	quadratische DA	SVM
Spektren-Vorfilterung	ja	ja
Modellvalidierung (Güte in %) (1 Pixel)	98,4 %	88,5 %
Pixelanzahl für Reinheit > 99,9 %	2	4

4

Das Hyperspectral Imaging ist eine leistungsfähige Technologie zur automatisierten Objekterkennung und -klassifizierung. Die Technologie ist auf eine Vielzahl unterschiedlicher Materialien (Polymere, Gläser, Metalle usw.), Probenkonfigurationen (Ein-,

Mehrfachschichtsysteme), aber auch für unterschiedliche Prozesskenngrößen (Fehler, Verunreinigungen, Material-, Probeneigenschaften) einsetzbar.

Die Messdaten können für spezifische Anwendungen maßgeschneidert aufbereitet und bereitgestellt werden. So lassen sich automatisiert einfache Prozesskontrollmeldungen ausgeben, Prozessregelungen etablieren oder auch die Ausschleusung / Sortierung in Recyclingprozessen steuern.

Ergebnisse der Sortierung aus Modell Charge 1
(In einem Produktstrom aus Partikeln werden die Verunreinigungen erkannt und entfernt. Das gewünschte Produkt POM gelb kann als reine Fraktion entnommen werden.)
links: Eingangsfraction der Partikelteilchen;
rechts: sortierte Fraktion „POM gelb“



5



- 1 Verschiedene Polymerfraktionen; an den Einzelmaterialien findet die Modellerstellung statt
- 3 Anlagenbeispiel zur Polymersortierung

KONTAKT

Dr. Philipp Wollmann
Telefon: +49 351 83391-3316
philipp.wollmann@iws.fraunhofer.de



ZENTREN



SPEZIFISCHES WISSEN ENTWICKELN UND BÜNDELN

Die Kompetenzzentren im Fraunhofer IWS Dresden dienen der organisatorischen Bündelung von Fachwissen, Verantwortlichkeit und Zuständigkeit in Arbeitsgebieten, die geschäftsfeldübergreifend von strategischer Bedeutung für das Institut sind.

»Tailored Joining« – Fügetechnische Kompetenzen in Dresden	124
Batterieforschung im IWS – Technologien für neue Energiespeicher	125
Energieeffizienz – Da geht noch was!	126
Generative Fertigung – Kompetenz in Werkstoff- und Fertigungstechnik	127
Nano im Fokus – Das Nanotechnologie-Zentrum	128
Nanotubes und Nanopartikel – Kleine Teilchen mit großer Wirkung	129
Kohlenstofftechnik – Einzigartige Vielfalt im Fraunhofer IWS	130
Faserverbundtechnik – Technologien für modernen Leichtbau	131
Laserintegration in die Fertigungstechnik	132
Prozessüberwachung und Sensorik – Der Qualität verpflichtet	133
Terabytes erforschen – Kompetenz im Datenmanagement	134
Smart-Systems für die Medizin- und Biosystemtechnik	135

Darüber hinaus gibt es Zentren, welche die unterschiedlichen Wissens- und Erfahrungsstände an verschiedenen Standorten bündeln, Marktpotenzial für IWS-Technologien bewerten und Trends für zukünftigen Forschungsbedarf ableiten.

Dortmunder Oberflächencentrum (DOC®)	136
Project Center Laser Integrated Manufacturing in Wrocław (PCW)	138
Fraunhofer-Center for Coatings and Laser Applications (CCL)	140



»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, Arc, Induktion)
- Lötten mit Laser und Reaktivmultischichten
- Magnetspulfügen (Umformen + Schweißen)
- Rührreibschweißen
- formschlüssiges Laserstrahlfügen (Steg-Schlitz-Verbindungen)
- Diffusionsschweißen (Laser-Induktions-Walzplattieren)
- Kleben

Der Partner TU Dresden konzentriert sich am Lehrstuhl Füge-technik und Montage auf Verfahren und Werkzeuge in den Bereichen thermisches Fügen (Lichtbogenverfahren, Lötten), umformtechnisches und mechanisches Fügen (Schrauben, Pressen) sowie Hybridfügen und beschäftigt sich mit der ganzheitlichen Planung von Montage-, Handhabungs- und Fügeprozessen. Der Dresdner Verbund wird seit 2014 aktiv durch die Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) mit ihrem Know-how zum Elektronenstrahlschweißen unterstützt.

KOORDINATION

DR. JENS STANDFUSS

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



ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

CLAUDIA ZELLBECK

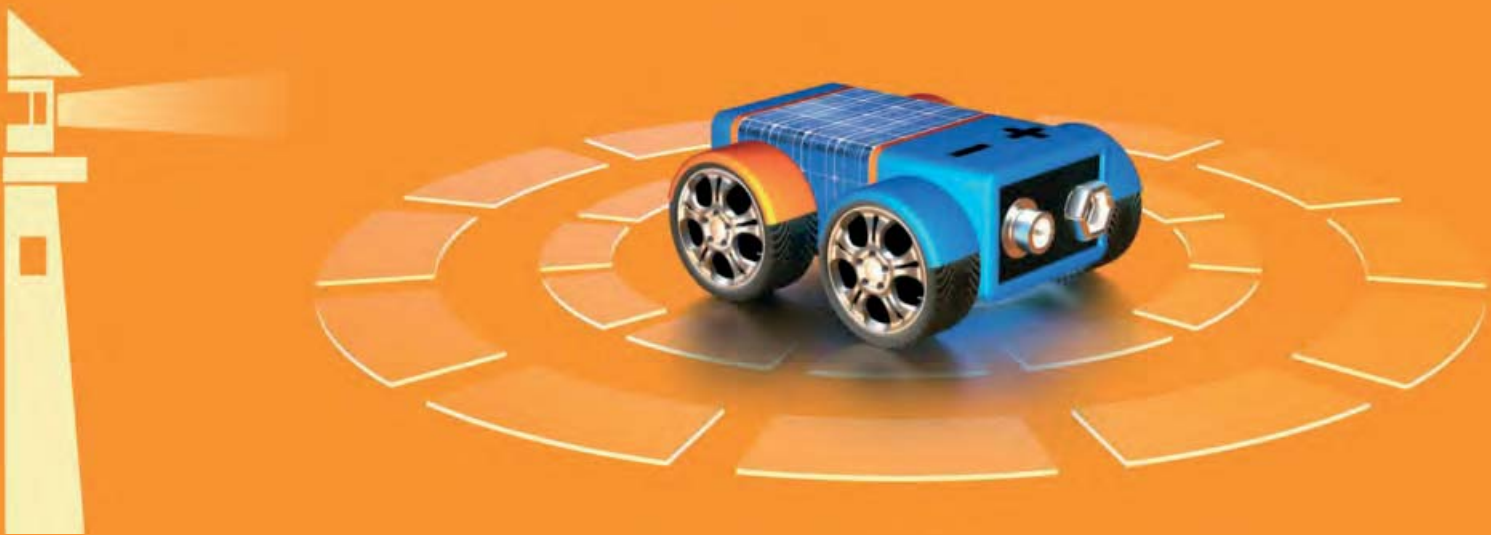
Telefon +49 351 83391-3332
claudia.zellbeck@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/fuegetechnik

Besonderes Augenmerk wird von allen Partnern auf eine wertungsfreie Gegenüberstellung der verschiedenen Lösungen gelegt, so dass Anwender direkt Entscheidungshilfen für ihr jeweiliges Anliegen erhalten können.

Eine bewährte Möglichkeit des Erfahrungsaustausches ist das Internationale Fügetechnische Symposium »Tailored Joining«. Das nächste Symposium dieser Art findet zeitgleich mit dem Internationalen Lasersymposium »Fiber, Disc & Diode« am 23. und 24. Februar 2016 statt. Wie schon bei den ersten Veranstaltungen dieser Reihe wird eine große Bandbreite an modernen Fügeverfahren und ihre aktuellen Entwicklungen vorgestellt. Ebenso besteht die Möglichkeit, Grundlagenkurse für ausgewählte Verfahren zu buchen, die mit praktischen Vorführungen in den jeweiligen Laboren der Partner verbunden werden. Damit können sich auch Neueinsteiger sehr schnell mit einer Technologie vertraut machen und deren Möglichkeiten und Grenzen evaluieren. Mehr unter www.fuegesymposium.de



BATTERIEFORSCHUNG IM IWS – TECHNOLOGIEN FÜR NEUE ENERGIESPEICHER

Zahlreiche Forschungsprojekte für die Entwicklung von Speicherlösungen für die Elektromobilität, aber auch andere elektrische Energiespeicheranwendungen unterstreichen die zentrale Rolle des Fraunhofer IWS Dresden auf diesem Gebiet. Mit der aufgebauten Demonstratorstrecke zur Batteriefertigung können essenzielle Beiträge geleistet werden, um die eigenen Entwicklungsarbeiten effektiver zu gestalten. Ebenso können Unternehmen bei der Erforschung von Batteriematerialien umfangreich unterstützt werden.

In dem vom BMBF geförderten Projekt DryLIZ (BMBF: KIT 02PJ2302) wurde in diesem Jahr der Demonstrator zur Konfektionierung und zum Transport von Elektroden bei kontinuierlichem Materialvorschub aufgebaut. Dieser ergänzt somit in optimaler Weise das bestehende System zur automatisierten präzisen Stapelung von Batterieelektroden und Separatoren. In Folge der Entwicklungsarbeit ist die kontinuierliche Zuführung eines Elektrodentyps zur Stapelanlage gewährleistet, was eine deutliche Verkürzung der Bearbeitungszeit mit sich bringt. Die Elektroden können nun direkt nach dem Zuschnitt qualitätsgeprüft und zu einem Zellstapel verarbeitet werden.

Die Weiterentwicklung von Materialien und Technologien erfolgt weiterhin in primär öffentlich geförderten Projekten. Nachfolgend ein Auszug:

CryPhysConcept (BMW/BMWi/BMBF: FZJ 03EK3029B)
Mit Kristallphysik zum Zukunftskonzept elektrochemischer Energiespeicher
Laufzeit: 10/2012 - 12/2015

BaSta (BMW: FZJ 0325563A)
Batterie – Stationär in Sachsen
Laufzeit: 11/2012 - 10/2015

KOORDINATION
MATERIALENTWICKLUNG
DR. HOLGER ALTHUES
Telefon +49 351 83391-3476
holger.althues@iws.fraunhofer.de



FERTIGUNGSTECHNIK
DR. PHILIPP THÜMMLER
Telefon +49 351 83391-3215
philipp.thuemmler@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/batterieforschung

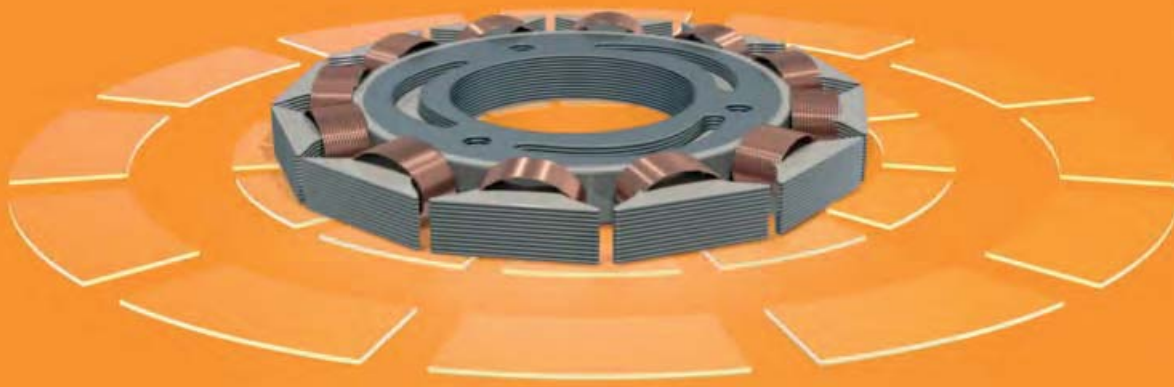
BatCon (BMW: DLR 01MX12055C)
Funktionsintegrierte Hochstromverbinder für Batteriemodule
Laufzeit: 01/2013 - 12/2015

PLIANT (EU: FP7-NMP-2012-LARGE-6)
Process Line Implementation for Applied Surface Nanotechnologies, Laufzeit: 01/2013 - 01/2017

BamoSa (BMBF: FZJ 03X4637A-H)
Batterie – mobil in Sachsen
Laufzeit: 06/2013 - 05/2016

LiScell (Fraunhofer-internes Vorlaufforschungsprojekt)
Sichere Lithium-Schwefel-Zelle mit 400 Wh/kg
Laufzeit: 06/2014 - 05/2017

Der 4. Workshop »Lithium-Schwefel-Batterien« findet im Rahmen der Dresdner Konferenz »Zukunft Energie« vom 10. bis 11. November 2015 im Internationalen Congress Center Dresden statt. Mehr unter www.zukunftenergie-dresden.de



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.

Die Einführung der im IWS entwickelten Technologie zum Laserstrahlschweißen im Unterrumpfbereich verschiedener Airbusmodelle ermöglicht eine deutliche Verringerung des Strukturgewichts. Beim A340-600 werden dadurch rund 100 Kilogramm eingespart. Für Primärstrukturen werden die durch Laserstrahlschweißen erzielten Gewichtseinsparungen auf ca. 10 Prozent beziffert.

Auch in der Massenproduktion von Getriebekomponenten für Autos ist das Laserstrahlschweißen nahezu unverzichtbar geworden. Einsparungen im Kraftstoffverbrauch und eine bessere Energiebilanz sind zu erzielen. Reibungsmindernde Schichten des IWS auf Motorkomponenten sind ein anderer Weg, den Kraftstoffverbrauch weiter zu verringern. Die IWS-Technologie ist gemeinsam mit der Anlagentechnik zur Diamor®-Abscheidung auf dem besten Weg zu einer breiten industriellen Nutzung.

Um den Ausbau der Region Dresden für das Zukunftsthema Energieeffizienz über die bestehenden institutionellen Grenzen hinaus voranzutreiben und Innovationen für die ansässige Wirtschaft zu beschleunigen, wurde im Jahre 2009 das »Dresdner Innovationszentrum Energieeffizienz DIZE^{EFF}« gegründet und vom IWS koordiniert.

SPRECHER

PROF. ECKHARD BEYER

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



KOORDINATION

DR. STEFAN SCHÄDLICH

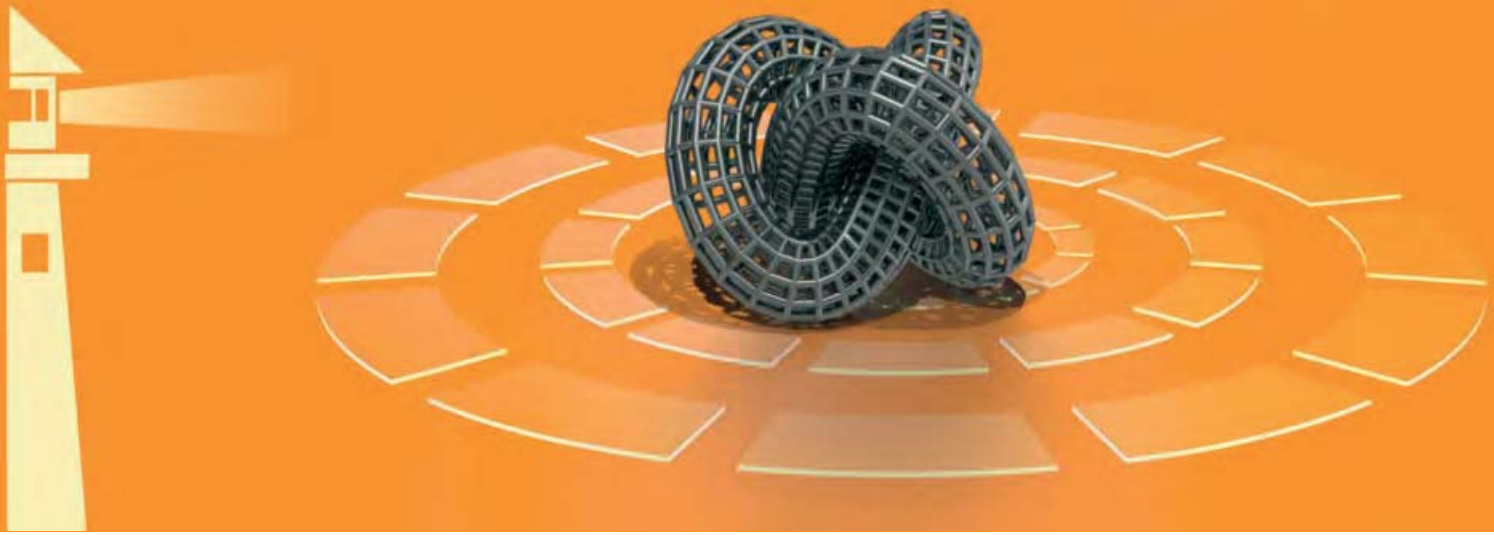
Telefon +49 351 83391-3411
stefan.schaedlich@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/energieeffizienz

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 Energie 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 sowie im Rahmen der Konferenz »Zukunft Energie«. Mehr unter www.zukunftenergie-dresden.de



GENERATIVE FERTIGUNG – KOMPETENZ IN WERKSTOFF- UND FERTIGUNGSTECHNIK

Die additiv-generative 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. Dementsprechend groß ist das Interesse der Wirtschaft an der Qualifizierung der additiv-generativen Fertigung zur Herstellung von Produkten in Industriequalität.

Dem großen Potenzial der additiv-generativen Fertigung steht eine Vielzahl von bislang nur ansatzweise gelösten oder noch vollständig ungelösten Fragestellungen gegenüber. Diese können nur im engen Schulterschluss zwischen Wirtschaft und Wissenschaft beantwortet werden. Dieser Schulterschluss erfolgt unter anderem in dem vom Fraunhofer IWS Dresden initiierten Projekt »Additiv-generative Fertigung«, kurz Agent-3D. Das Konsortium aus 60 Partnern bildet ein starkes Netzwerk zwischen der Industrie und Forschungsinstituten.

Mit seinem »Zentrum für Generative Fertigung« 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 somit eine ideale Vernetzungsplattform für die Wirtschaft mit der universitären Grundlagenforschung und der anwendungsorientierten Forschung in einem sich rasant entwickelnden Hochtechnologiefeld.

KOORDINATION

PROF. CHRISTOPH LEYENS

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



KOORDINATION

DR. ELENA LOPEZ

Telefon +49 351 83391-3296
elena.lopez@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/generativefertigung

Die zur Verfügung stehende breite Verfahrenspalette umfasst unter anderem

- Laserauftragschweißen mittels Pulver und Draht,
- selektives Laserstrahlschmelzen,
- Elektronenstrahlschmelzen und
- 3D-Druck

für metallische und intermetallische Werkstoffe, Kunststoffe, Funktionswerkstoffe sowie Multimaterialsysteme. Verfahrenseitig stehen neben der Prozessentwicklung auch die Entwicklung von Systemtechnik, Sensorik und Online-Prozessdiagnostik im Mittelpunkt.

Die Forschungsarbeiten des »Zentrums für Generative Fertigung« fokussieren sich auf produkt- und branchentypische Prozessketten, angefangen vom Bauteildesign über den eigentlichen Herstellungsprozess bis hin zu Nachbehandlungs- und -bearbeitungsschritten sowie Reparatur und Recycling. Auch die Prüfung und Charakterisierung von generativ hergestellten Werkstoffen und Bauteilen gehört zur Kernkompetenz des Zentrums.



NANO IM FOKUS – DAS NANOTECHNOLOGIE-ZENTRUM

Die Nanotechnologie bietet vielfältige Ansatzpunkte für Innovationen und liefert wichtige Beiträge zur Verbesserung von Energie- und Ressourceneffizienz. Damit die Forschungsergebnisse dieser branchenübergreifenden Querschnittstechnologie schneller und besser in Anwendungen umgesetzt werden, ist eine enge Kooperation von Wissenschaft und Unternehmen erforderlich. Diesem Anspruch stellt sich das Fraunhofer IWS Dresden seit Jahren mit eigenen Forschungsarbeiten sowie mit der Koordination und Mitarbeit einer Vielzahl von Initiativen.

Die Forschungsarbeiten des IWS widmen sich unter anderem:

- Ionenstrahlbearbeitung von Optiken (siehe S. 98/99),
- Multilayer-Lauellinsen für höchstauflösende Röntgenoptik (siehe S. 102/103).

Diese Arbeiten finden zunehmend Interessenten und Anwendungen in der Industrie.

Bereits zum 10. Mal veranstaltete das Fraunhofer IWS Dresden gemeinsam mit der Landeshauptstadt Dresden das Internationale Nanotechnologie-Symposium »Nanofair – Neue Ideen für die Industrie« im Internationalen Kongresszentrum. Über 65 Vorträge von international renommierten Referentinnen und Referenten standen auf dem Programm, das bei den 350 Teilnehmern aus 35 Ländern ebenso auf reges Interesse stieß wie die vielfältigen Posterbeiträge. Die Themen reichten von Nanomaterialien und Nanokompositen über Anwendungen in den Life Sciences bis hin zur organischen und gedruckten Elektronik und neuen Aspekten in der Nanoanalytik. Zudem wurde im Rahmen der Nanofair 2014 zum 5. Mal der VDI-Nachwuchspreis Nanotechnik verliehen.

KOORDINATION

PROF. ANDREAS LESON

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

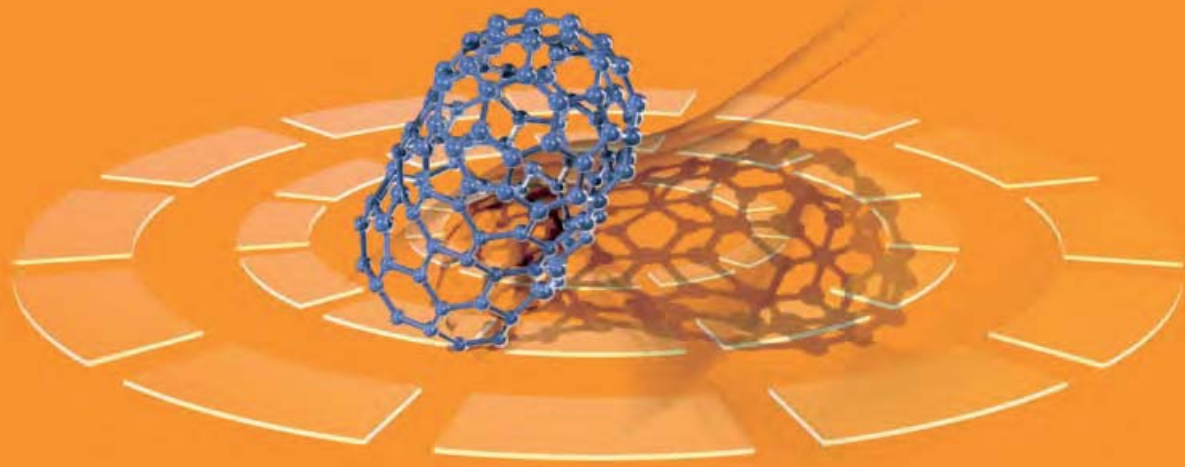


www.iws.fraunhofer.de/nanotechnologie

Das IWS fokussierte sich zudem sehr stark auf den Technologietransfer, indem es sich gemeinsam mit Unternehmen und anderen Forschungseinrichtungen auf der weltweit größten Fachmesse, der »nano tech« in Tokyo, präsentierte. Auch der Messeauftritt zur PSE in Garmisch-Partenkirchen widmete sich dem Thema.

Des Weiteren engagiert sich das IWS in der Initiative »Nano in Germany«, in der sich mehr als 120 in der Nanotechnologie aktive Unternehmen und Institute zusammengeschlossen haben. So fungiert Herr Professor Dr. Andreas Leson, stellvertretender Instituts- und Abteilungsleiter am IWS, als Sprecher der Initiative und vertritt diese im Außenfeld. Für sein Wirken wurde Prof. Leson im Herbst 2014 mit dem Preis »A life for thin film« ausgezeichnet.

Das IWS koordiniert zudem das Nanotechnologiezentrum »Ultradünne funktionale Schichten« und ist darüber hinaus Mitglied in der Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie, dem Dresdner Fraunhofer Cluster Nanoanalytik sowie im Netzwerk Organic Electronics Saxony.



NANOTUBES UND NANOPARTIKEL – KLEINE TEILCHEN MIT GROSSER WIRKUNG

Auf Grund der großen Oberfläche zeigen Nanopartikel ein anderes physikalisches und chemisches Verhalten als Werkstoffe mit makroskopischen Strukturen. Durch die gezielte Einbettung der Nanopartikel in entsprechende Matrixmaterialien können demzufolge die Eigenschaften des Verbundmaterials wesentlich verbessert werden. Das Fraunhofer IWS hat sich auf die Herstellung bzw. die Anwendung von kohlenstoffhaltigen Nanopartikeln spezialisiert. Hierzu gehören unter anderem:

Herstellung von einwandigen Kohlenstoffnanoröhren (SWCNT):

- Entwicklung eines weltweit einmaligen Verfahrens zur skalierbaren, kostengünstigen Gasphasen-Synthese von SWCNT
- Aufbau einer Pilotlinie am Fraunhofer IWS zur Herstellung großer Mengen SWCNT (kg / Tag) zur Herstellung halbleitender bzw. metallischer SWCNT mit bis zu 90 Prozent Reinheit
- Online-Monitoring der SWCNT-Gasphasensynthese
- Entwicklung eines Verfahrens zur Abscheidung von vertikal orientierten CNT auf Oberflächen (in Kooperation mit der TU Dresden)

Aufbereitung der SWCNT:

- Reinigung der SWCNT (Entfernung des amorphen Kohlenstoffs und der Katalysatorpartikel)
- Funktionalisierung (Dotierung) der SWCNT
- Dispergierung der SWCNT in wässrigen Tensidlösungen oder organischen Lösungsmitteln zum direkten Versprühen auf Oberflächen

KOORDINATION

DR. GERRIT MÄDER

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



ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

DR. RALF JÄCKEL

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



www.iws.fraunhofer.de/nanopartikel

Herstellung von nanoskaligen Rußpartikeln:

- Entwicklung von solarthermischen Verfahren (keine CO₂-Emission) zur Erzeugung von Ruß mit einer definierten Größenstruktur als Nebenprodukt der Wasserstoffherzeugung

Anwendungsgebiete der Nanopartikel sind beispielsweise:

- transparente leitfähige Schichten
- flexible leitfähige Schichten
- antistatische Oberflächen
- flexible leitfähige Polymere
- optische Absorberschichten für den Hochtemperaturbereich

Das Fraunhofer IWS war integriert in die Innovationsallianz Inno.CNT, an der rund 90 namhafte Partner aus Wissenschaft und Industrie beteiligt waren. Auf diese Weise konnten zahlreiche industrielle Kontakte geknüpft und das Potenzial speziell der SWCNT für industrielle Anwendungen evaluiert werden.



KOHLNSTOFFTECHNIK – EINZIGARTIGE VIelfALT IM FRAUNHOFER IWS

Kohlenstoff ist ein besonderes Element mit außergewöhnlicher Vielseitigkeit. Verschiedene Modifikationen und Verbindungen ermöglichen ein breites Eigenschafts- und Anwendungsspektrum. In den Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWS Dresden spielt Kohlenstoff seit Jahren eine zentrale Rolle. Nachfolgend einige Beispiele:

Diamantähnliche Schichten (ta-C) zur Minderung von Reibung und Verschleiß sind ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt im Geschäftsfeld PVD- und Nanotechnik. Viele Jahre wurde der Zusammenhang zwischen Prozess- und Schichteigenschaften untersucht. Nun hat die im Fraunhofer IWS Dresden entwickelte Anlagentechnik zur Abscheidung von ta-C-Schichten ihren Weg in die Industrie gefunden. Zwei Industrieüberführungen wurden in diesem Jahr realisiert

Graphitähnlicher Kohlenstoff (GLC: graphite like carbon) in dem die graphitische Bindung überwiegt und der daher eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzt, kann am Fraunhofer IWS mit einer modifizierten Abscheidetechnologie erzeugt werden. GLC-Schichten zeichnen sich durch geringe Kontaktwiderstände und hohe chemische Korrosionsfestigkeit aus. Ein spezieller Laserstrukturierprozess erlaubt es, diamantartige Kohlenstoffschichten lokal zu graphitisieren (siehe S. 92/93).

Carbon nanotubes (CNT) zeichnen sich durch hohe elektrische Leitfähigkeit aus. Vertikal orientierte Kohlenstoffnanoröhren dienen beispielsweise als leitfähige und binderfreie Matrix für die Kontaktierung des Schwefels in Lithium-Schwefel-Batterien. Die im IWS Dresden in der Gasphase kontinuierlich hergestellten einwandigen CNT finden zunehmend Eingang in unterschiedliche Applikationen im Bereich Sensorik.

KOORDINATION

PROF. STEFAN KASKEL

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



ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

DR. RALF JÄCKEL

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

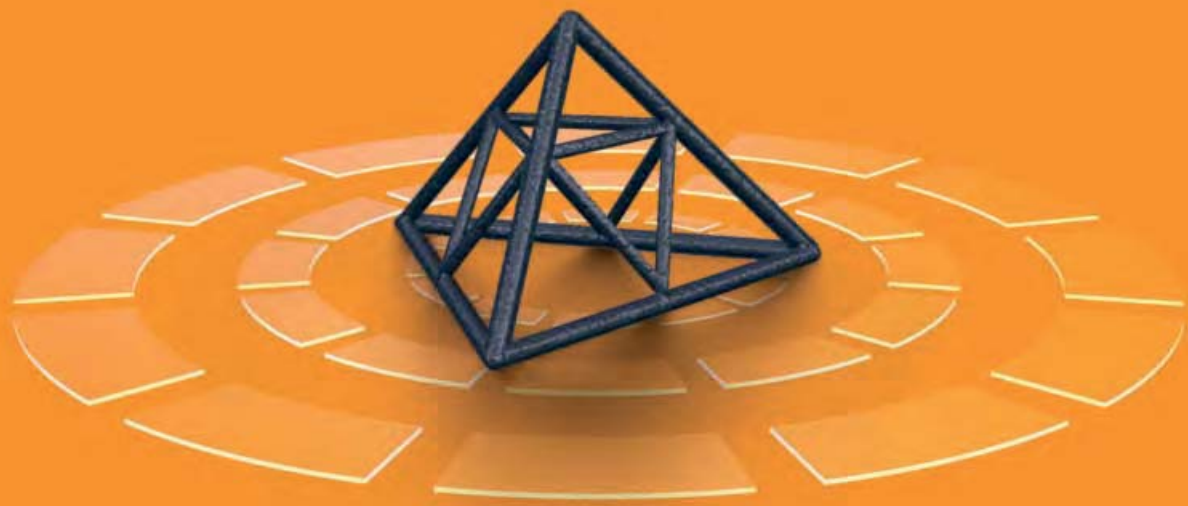


www.iws.fraunhofer.de/kohlenstofftechnik

Dünne CNT-Schichten ermöglichen die Herstellung transparenter leitfähiger Folien mit hoher Flexibilität und Aktorik. Durch die Einlagerung von CNT in Polymeroberflächen konnte das IWS Dresden deren Antistatik verbessern.

Kohlenstofffasern sind ein weiteres Thema mit hoher Aktualität. Das IWS forscht sowohl an der Beschichtung von Kohlefasern im Hinblick auf die Integration in Polymermatrizen als auch an der trenn- und fügetechnischen Verarbeitung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen.

Mono- und polykristalliner Diamant ist von großem Interesse für optische, röntgenoptische und elektronische Anwendungen. In seiner Außenstelle, dem Fraunhofer CCL in Lansing, MI, USA erzeugt das Fraunhofer IWS Diamant aus der Dampfphase durch homoepitaktische chemische Abscheidung.



FASERVERBUNDTECHNIK – TECHNOLOGIEN FÜR MODERNEN LEICHTBAU

Leichtbaustrukturen, bestehend aus hochfesten Faserverbundmaterialien in Kombination mit speziell ausgelegten Bauteilgeometrien, können die weltweiten Anforderungen in Richtung energieeinsparender Produkte erfüllen. Um die Kosten für diese Strukturen zu senken, arbeitet das Fraunhofer IWS in Kooperation mit der TU Dresden an einer Vielzahl von Themenschwerpunkten der Fertigungs-Prozesskette. Hierzu gehören unter anderem:

- dosierter Wärmeeintrag durch Minimierung der Wechselwirkungszeiten bei gleichzeitig hohen Abtragsraten durch den Einsatz von Ultrakurzpulslasern
- endkonturnahe Bearbeitung von konsolidiertem und unkonsolidiertem Material mittels Laser-Remote-Technologie (remocut®FRP)
- Schaffung von stoff- und formschlüssigen Verbindungen durch Einsatz generierender oder abtragender Laserverfahren
- strukturelles Kleben von Kompositbauteilen
- Kleb- und Laserfixierung von faserverstärkten Halbzeugen
- induktiv unterstütztes Kleben von Faserverbundkunststoffen
- Optimierung der Materialanbindung bei Hybridbauteilen durch gezielte Bearbeitung der Kontaktflächen mittels Laser- oder Plasmavorbehandlung
- Herstellung von reaktiven Nanometer-Multischichten zum Hochgeschwindigkeitsfügen von thermoplastischen Faserverbundkunststoffverbunden
- lasergestützte Prozesse zur kontinuierlichen Karbonisierung von stabilisierten Precursorfasern für die Kohlenstofffaserherstellung
- Einsatz von Mikrowellenstrahlung und -plasmen zur energieeffizienten Herstellung von Kohlenstofffasern
- Herstellung von Polymerfasern mit Durchmessern zwischen 50 nm und 1 µm mit integrierten Nanopartikeln (z. B. Kohlenstoffnanoröhren)

KOORDINATION

ANNETT KLOTZBACH

Telefon +49 351 83391-3235

annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/faserverbundtechnik

Eine enge universitäre Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Faserverbundtechnik wurde durch die aktive Einbindung in den Sonderforschungsbereich SFB 639 (Textilverstärkte Verbundkomponenten für funktionsintegrierende Mischbauweisen) erreicht.

Durch die Mitgliedschaft im Verein »Carbon Composite e. V.« erfolgt ein reger Erfahrungsaustausch zwischen den Unternehmen in der Region sowie weiteren Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Composite-Technologie. Die Forschungsergebnisse der verschiedenen Abteilungen wurden auf mehreren nationalen und internationalen Fachmessen und Tagungen der Öffentlichkeit präsentiert.



Gemeinschaftsstand des Fraunhofer IWS Dresden sowie der Held Systems GmbH auf der Composite Europe Messe in Düsseldorf



LASERINTEGRATION IN DIE FERTIGUNGSTECHNIK

Deutschlands Potenzial im Maschinen- und Anlagenbau wird durch die Lasertechnik nachhaltig und flächendeckend erweitert und die Wettbewerbsfähigkeit gesichert. Das Fraunhofer IWS Dresden leistet dazu seit Jahren einen signifikanten Beitrag. Eine Vielzahl innovativer Technologien und Systeme konnten die Dresdner Forscher bereits in die industrielle Praxis überführen. Eine Auswahl realisierter Industrieüberführungen wurde zum 20-jährigen Bestehen des Institutes in einer Broschüre zusammengefasst.

Forschung für die industrielle Praxis, branchen- und themenübergreifend, ist ein wesentlicher Antrieb für die Aktivitäten des Institutes. Im Zentrum für Laserintegration in die Fertigungstechnik bündelt das Fraunhofer IWS deshalb seine Netzwerkaktivitäten und Kooperationen mit Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Dadurch kann es seinen Kunden komplette Lösungen aus einer Hand anbieten.

Die Vorteile für die Maschinen- und Anlagenbauer sowie Fertiger liegen auf der Hand:

- Kosteneinsparung durch Verkürzung der Prozessketten
- höhere Effizienz der Fertigungsverfahren und Produkte
- höhere Qualität und Marktfähigkeit der Produkte
- Alleinstellungsmerkmale technischen Höchststands

Aktuelle Technologieüberführungen der letzten Jahre waren eine Laser-MSG-Hybridschweißanlage zum Längsnahtschweißen von Mobilkrankomponenten, die Anwendung des hochdynamischen Form-Cutters zum Schneiden von Blechen sowie die erstmalige industrielle Anwendung des hocheffizienten Remote-Schneidens von Blechteilen sowie eine weitere Laserauftragschweiß- und -härteanlage für den Großwerkzeugbau. Weitere Technologie- und Anlagenüberführungen des Jahres 2014 sind auf den Seiten 8/9 dargestellt.

KOORDINATION

DR. STEFFEN BONSS

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



ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

CLAUDIA ZELLBECK

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



www.iws.fraunhofer.de/laserintegration

Die am Fraunhofer IWS entwickelten Technologien sollen so rasch wie möglich in praktische Lösungen überführt werden, mit denen der Kunde Geld verdient. Um die Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu schlagen und ein breites Fachpublikum zu erreichen, wurden die neuesten Entwicklungen auf etablierten Fachmessen wie z. B. Hannovermesse Industrie, Luftfahrtmesse ILA, Lasys, partst2clean, EuroBLECH, EuroMold sowie vielen anderen Messen und Veranstaltungen im In- und Ausland vorgestellt.

Zum Highlight 2014 wurde das 9. Internationale Laser- und Fügesymposium, welches vom 27. bis 28. Februar im Internationalen Congress Center Dresden stattfand. Bereits am vorgelegten Innovationsabend kamen zahlreiche Interessierte, um die Labore des IWS rund um das Thema »Laser« näher kennenzulernen. Die interessanten Fachgespräche setzten sich an den Folgetagen im Rahmen des Symposiums mit 460 Teilnehmern und einer bestbesuchten begleitenden Ausstellung fort. Mehr unter www.lasersymposium.de



PROZESSÜBERWACHUNG UND SENSORIK – DER QUALITÄT VERPFLICHTET

Industrielle Produktionsprozesse zu überwachen sowie deren Produkte während bzw. nach der Fertigung zu charakterisieren, ist eine allgegenwärtige Aufgabenstellung in modernen Produktionsprozessen. Somit geht die Entwicklung neuer Fertigungstechnologien immer stärker einher mit der Entwicklung adäquater prozessanalytischer Sensoren, Messmethoden und -geräten. Das Zentrum Prozessüberwachung und Sensorik am Fraunhofer IWS konzentriert sich diesbezüglich auf die Entwicklung optischer sowie optisch-spektroskopischer Sensorik und deren Implementierung im Bereich der Laser- und Oberflächentechnik.

Mit Hilfe spezieller Monitoringtechnologien können z. B. relevante Informationen über Laserprozesse (Temperatur, Strahlanalyse, ...), Produkteigenschaften (Oberflächen, Schichten, Zusammensetzung, Porosität, ...), Prozessatmosphären (Gaszusammensetzung, ...) berührungslos und hochempfindlich bestimmt werden. Die dabei erhaltenen Ergebnisse werden zur automatisierten Überwachung, Steuerung und Optimierung der Prozesse eingesetzt. Neben der Anpassung vorhandener Technologien für Prozess-Monitoring-Aufgaben werden auch neuartige Sensortechnologien bis zur Marktreife entwickelt. Basierend auf langjährigen Erfahrungen kann auf ein großes Expertenwissen zurückgegriffen werden.

Entwicklungsschwerpunkte für das Monitoring von Laserprozessen sind z. B.:

- High-Speed-Temperaturüberwachung beim Laserstrahlhärten, -löten und Auftragschweißen (E-MAqS / E-FAqS)
- Mess- und Regelsystem für Temperaturüberwachung (LompocPro)
- Laserstrahlanalyse zur Qualitätskontrolle von Optiken und Laserquellen (LasMon)
- Plasmaspektroskopie für das Laserstrahlschweißen

KOORDINATION

DR. WULF GRÄHLERT

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



www.iws.fraunhofer.de/prozesskontrolle

Darüber hinaus werden optisch-spektroskopische Verfahren genutzt, um sowohl Einzelpunktmessungen zu realisieren als auch 100 Prozent-Kontrollen. Insbesondere Verfahren wie die IR-, RAMAN-, UV/VIS- und Laserdiodenspektroskopie eignen sich hervorragend für vielfältige Aufgaben im Prozess-Monitoring. Für ein 100 Prozent-Monitoring kommen modernste »Hyperspectral Imaging«-Systeme zum Einsatz.

Entwicklungsschwerpunkte der optisch-spektroskopisch basierten Messtechnologien sind z. B.:

- optische Kalorimetrie zur Charakterisierung poröser Materialien (InfraSORP®)
- Bestimmung der Wasserdampfpermeation von Ultrabariere-materialien (HiBarSens®)
- Bildanalyse-Tools (Hard- und Software) zum Hyperspectral Imaging (imanto®)
- Infrarot-basierte in-situ-Multigasanalytik (ISPROM®)
- Laserdiodenspektroskopische Spurengasanalytik (TraceScout)



TERABYTES ERFORSCHEN – KOMPETENZ IM DATENMANAGEMENT

Datenmanagement und der verantwortungsvolle Umgang mit Daten sind wichtige Themen für die Medizin, Lebenswissenschaften und Produktionsprozesse. Die Verwaltung ihrer Daten (beispielsweise Messergebnisse) kostet Forscher bis zu einem Viertel ihrer Arbeitszeit. Zudem erzeugen die verschiedenen Laborgeräte unterschiedliche Datentypen. Schnell geht die Übersichtlichkeit verloren. Auch in den Fabriken hat die digitale Revolution längst eingesetzt. Cyberphysische Systeme verbinden Prozesse, Produkte, Betriebsmittel und Beschäftigte, kommuniziert wird via Internet. Solche IT-Systeme werden am Fraunhofer IWS im Laborbetrieb erprobt.

Das Kompetenzzentrum Datenmanagement ist eine Kooperation mit der TU Dresden und dem Universitätsklinikum Dresden. Gemeinsam entwickeln die Partner interaktive Assistenzsysteme und Methoden für große Datenmengen (BigData). Im Fokus stehen digitale Bilddaten, die zur Früherkennung, Temperaturmessung, Diagnose, Therapieplanung, Therapieunterstützung oder Erfolgskontrolle genutzt werden. Forschung und Entwicklung reichen von der Bildakquisition über die Bildverarbeitung, die Modellierung und Visualisierung bis hin zum User-Interface- und Applikationsdesign.

Kompetenzprofil des Fraunhofer IWS:

- Entwicklung von Bilddatenbanken und Technologien
- Bildbearbeitung und 3D-Visualisierung
- Prozessoptimierung für Verwaltung und Speicherung in Datenbanken
- Entwicklung biomedizinischer Bildformate
- Softwareentwicklung für Planung, Modellierung, Architektur, Analyse
- Datenverwaltung und Datenauswertung
- Visualisierung, Datenmanagement, Visual-Analytics

KOORDINATION

PROF. KAROL KOZAK

Telefon +49 351 83391-3717
karol.kozak@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/datenmanagement

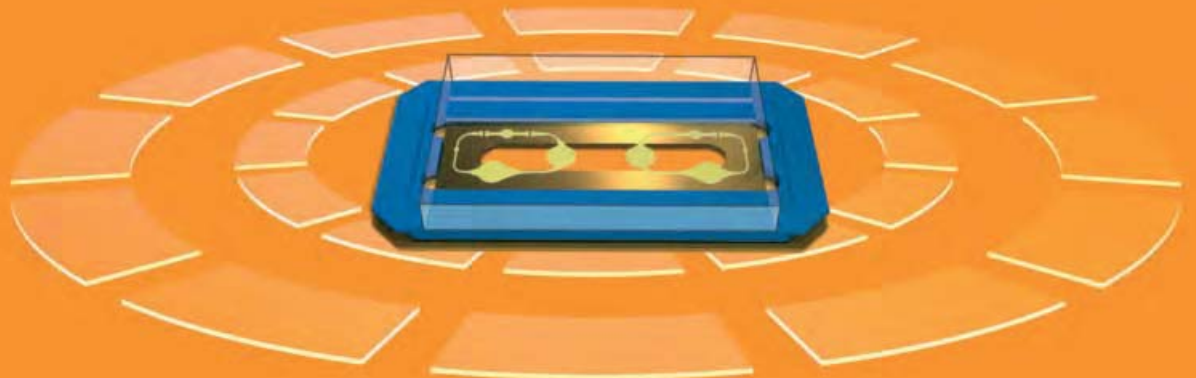
- Entwicklung von Technologie- und Datenstandards für die Verwaltung von digitalen Bildern und Metadaten

Komplementäre Kompetenzprofile der Kooperationspartner im Bereich professionelle Softwareentwicklung und Beratung:

- Objektorientierte Programmiersprachen: J2EE, NET, Python
- Datenbanken InMemory
- mobile Applikation InMemory: Iphone, Android, WindowsPhone
- professionelle Projektverwaltung: Scrum-Agile Modell
- IT & Softwarearchitektur Modellierung

Im Bereich Datenverwaltung und Datenauswertung:

- Entwicklung von Technologie und Datenstandards für die Verwaltung von digitalen Bildern und Metadaten
- automatische Echtzeit-Datenbearbeitung und Verwaltung
- multiparametrische und statistische Datenauswertung, Visualisierung, Management
- Visual-Analytics



SMART-SYSTEMS FÜR DIE MEDIZIN- UND BIO-SYSTEMTECHNIK

Im Bereich der Medizin- und Biosystemtechnik sind Laser fest etabliert und angesichts ständig neuer Laserentwicklungen stetig auf dem Vormarsch. Das Fraunhofer IWS will Anwendern aus diesem Bereich einen Überblick über die Möglichkeiten und Grenzen der in Verbindung mit Lasertechnologien herstellbaren technischen Systeme geben, angefangen von der Biotechnologie über Umwelt-Biosensorik bis hin zur Zellkulturtechnik. Die Aktivitäten sind darauf ausgerichtet, Neuentwicklungen kompakt darzustellen und industriebezogene Lösungen aufzeigen.

Da komplexe Zellkulturexperimente für die Entwicklungen in der regenerativen, personalisierten Medizin unerlässlich sind, wurde am Fraunhofer IWS in den letzten Jahren ein mikrofluidisches Perfusions-System entwickelt, das über integrierte Mikropumpen betrieben wird. Durch die Perfusion in solchen mikrofluidischen Systemen ist es möglich, die Bedingungen eines lebendigen Organismus zu simulieren und somit Zellverhalten nachzustellen, die sonst nur in echten Organen beobachtet werden können. Mit Partnern des Uniklinikums Dresden sowie aus der Industrie konnte ein Multilagen Lab-on-a-Chip-System für die Nachstellung kapillärer Flussverhältnisse der Niere entwickelt werden (siehe S. 82/83). Das System dient der Erforschung der Regeneration der Niere und soll helfen, die komplizierten zellulären Prozesse zu verstehen und neuartige Therapien zu entwickeln.

Die Ansteuerung mikrofluidischer Systeme bringt vielfältige Anforderungen mit sich. Deshalb entstand in Kooperation mit Projektpartnern ein Ansteuergerät, mit dem insgesamt acht Mikropumpen mit variabler Pumpgeschwindigkeit betrieben und vier mikrofluidische Perfusions-Systeme beheizt werden können. Über gängige Schnittstellen können im Zuge der Qualitätssicherung Daten aufgezeichnet und später ausgewer-

KOORDINATION

DR. UDO KLOTZBACH

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



KOORDINATION

DR. FRANK SONNTAG

Telefon +49 351 83391-3259
frank.sonntag@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/biosystemtechnik

tet werden. Weitere Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte des Fraunhofer IWS sind:

- Mikrostrukturieren sowie Mikroschneiden und -bohren mit verschiedenen Kurzpuls- und Ultrakurzpulslasern
- Mikrofügen mit Lasertechnik
- Design, Simulation und Fertigung von mikrofluidischen Strukturen und Mikroreaktoren sowie universeller Lab-on-a-Chip-Plattformen inklusive Ansteuerung
- Rapid Prototyping von mikrofluidischen Strukturen und Mikroreaktoren
- additive Fertigung biofunktionaler und biokompatibler Bauteile (Scaffolds, Tissue Engineering by Organic Printing)
- Nano-Imprint-Lithografie
- 2PP - Multi-Micro-Organoid Culture System

Das Fraunhofer IWS ist in diesem Bereich sehr stark national wie auch international vernetzt. Exemplarisch seien hier die Netzwerke Optonet, Biosaxony und EPIC genannt.



DORTMUNDER OBERFLÄCHENCENTRUM (DOC®)

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

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



KOORDINATION

DR. AXEL ZWICK

Fraunhofer IWS

Telefon +49 231 844 3512

axel.zwick@iws.fraunhofer.de



FRAUNHOFER-PROJEKTGRUPPE AM DORTMUNDER OBERFLÄCHENCENTRUM DOC®

Eberhardstraße 12

44145 Dortmund

www.iws.fraunhofer.de/dortmund

Aktuelle Schwerpunkte im Bereich Dünnschichttechnik:

- Entwicklung leitfähiger, umformbarer Kohlenstoffschichtsysteme
- GLC: Graphite Like Carbon und plasmanitrocarbrierter Oberflächen für die Elektromobilität, z. B. für Stahl-Bipolarplatten für Brennstoffzellen sowie Al- und Cu-Elektroden für Batterien und Superkondensatoren (z. B. Leitfähigkeit vgl. Gold ohne Degradation im Brennstoffzellen-Stracktest, siehe Seiten 92/93)
- Diamor®-Schichtsysteme (ta-C: tetraedisch amorpher Kohlenstoff) für den Verschleißschutz auf Basis des short pulsed Arc (spArc®)-Verfahrens (erfolgreiche Serieneinführung von selbstschärfenden Kochmessern)
- neuartige PVD-Hochleistungsverfahren im Druckbereich > 30 mbar für die Bandveredelung und die Entwicklung von Korrosionsschutzsystemen auf Basis von Zinklegierungsüberzügen, z. B. für hochkorrosionsfeste metallische Überzüge (z. B. ZnMg) und metallische Überzüge für die Warmumformung (z. B. ZnFe)



Aktuelle Schwerpunkte Lasermaterialbearbeitung und Spritztechnik:

- Entwicklung von Fügeverfahren auf der Basis des Laser-MSG-Hybridschweißens für den Leichtbau, z. B. für das Schweißen von Mobilkrankomponenten aus höchstfesten Feinkornbaustählen (erfolgreiche Serieneinführung des Längsnahtschweißens von Teleskopkrankomponenten auf einer 19 m langen Hybridschweißanlage, siehe Seiten 36/37)
- spritzerarmes Hochgeschwindigkeits-Laserschweißen mit Festkörperlasern hoher Strahlqualität
- Lichtbogendrahtspritzen
- Kombinationsverfahren Fügen/Lichtbogendrahtspritzen, z. B. bei der Nachverzinkung von Schweißnähten
- Entwicklung von Prototypenschweißverfahren mit dem Festkörperlaser

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

funktionalitäten sind in der Entwicklung. Die wichtigste Anlagentechnik in der Fraunhofer-Projektgruppe im DOC® ist:

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

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

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

PROJECT CENTER LASER INTEGRATED MANUFACTURING IN WROCLAW (PCW)

Die Forschungsarbeiten des im Jahr 2008 gegründeten Fraunhofer-Project Center Laser Integrated Manufacturing in Wrocław (PCW) konzentrieren sich auf drei Hauptgebiete:

- Auftragsforschung und Entwicklungen für Industriekunden,
- öffentlich geförderte Forschungsprojekte auf nationaler, bilateralen und europäischer F&E-Programm Ebene,
- interne Projekte, um die Kompetenz beider Partner zu stärken.

Die Kompetenz des Projektzentrums beruht auf den Kernkompetenzen der laserbasierten Geschäftsfelder des Fraunhofer IWS Dresden:

- Abtragen und Trennen
- Fügen (Schweißen)
- Thermisches Beschichten
- Randschichttechnik

und auf den grundlegenden Bereichen des CAMT (Centre for Advanced Manufacturing Technologies) der Technischen Universität Wrocław:

- Herstellungstechnologien, einschließlich generativer Technologien
- Produktionsmanagement und Qualitätsprüfsystem
- Produktionsautomatisierung und Steuerung

Das Fraunhofer Project Center ist in den Räumlichkeiten des Institute of Production Engineering and Automation der Technischen Universität Wrocław angesiedelt.

Im Jahr 2014 vertiefte das Center die Aktivitäten zur Etablierung des Fraunhofer-Modells auf dem polnischen Forschungsmarkt. Die Zusammenarbeit mit bestehenden Kunden konnte ausgebaut werden. So erfolgte die Auslieferung mehrerer Beschichtungseinheiten für das großflächige Laser-Pulver-Auftragschweißen. Sie bestehen aus Strahlformungsoptiken und

INSTITUTSDIREKTOR

PROF. 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

KOORDINATION

DR. JAN HAUPTMANN

Fraunhofer IWS

Telefon +49 351 83391-3236

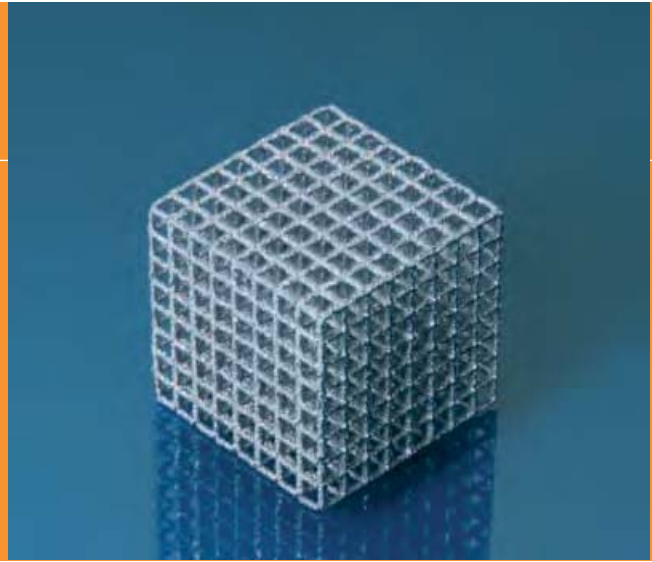
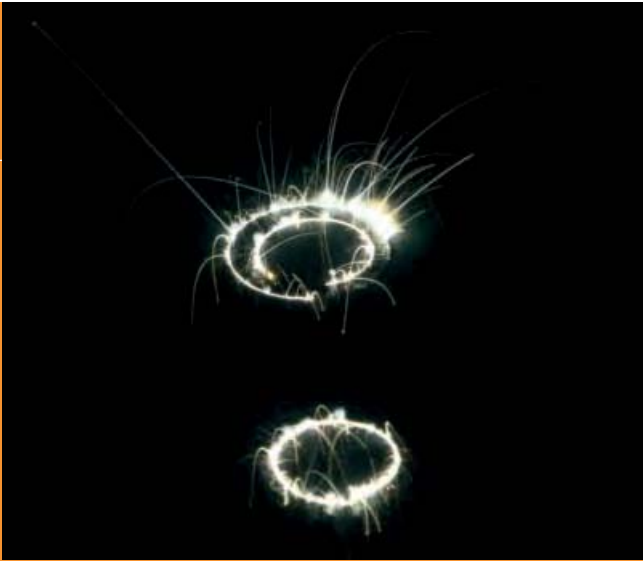
jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de



www.iws.fraunhofer.de/polen

der im Fraunhofer IWS entwickelten Pulverdüse Coax13. Diese werden in der Fertigung beim Kunden mit zwei 5 kW Faserlasern kombiniert.

Weiterhin erfolgte die Installation eines Offline-Programmiersystems für die Technische Universität Wrocław an einer Roboter-basierten Laserbeschichtungsanlage. Das ausgelieferte Offline-Programmiersystem DCAM ist ein universell einsetzbares Softwaresystem für die Offline-Programmierung von CNC- und Roboteranlagen. Der Schwerpunkt liegt in der Lasermaterialbearbeitung. Speziell für das Auftragschweißen, Härten, Schneiden und Schweißen wurden Bearbeitungsroutinen und Prozessparameter hinterlegt, die dem Bearbeiter an der Maschine die Arbeitsvorbereitung erleichtern.



Der Arbeitsablauf gestaltet sich wie folgt: Zuerst werden die CAD-Daten oder ein Scan-Datensatz der zu bearbeitenden Geometrie importiert. Danach erfolgt die Aufbereitung der zu bearbeitenden Bereiche (Grenzkanten festlegen, Vektorkonturen erstellen, u. U. Flächen nachmodellieren). Anschließend wird das geeignete Technologiemodul zur Werkzeugbahnberechnung aufgerufen und die Anlagensimulation zur Berechnung aller Achswerte durchgeführt. Abschließend erzeugt der Postprozessor das spezifische CNC- oder Roboterprogramm.

Darüber hinaus konnten mehrere neue Kunden gewonnen werden. Ein spannendes Arbeitsgebiet sind z. B. die Untersuchungen zum partiellen Entschichten von Flachglaselementen aus dem Architekturbereich. Dabei wurden verschiedene Lasersystemvarianten hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit zum Abtragen von wärmeisolierenden Beschichtungen auf Architekturglas getestet. Neben einem leistungsstarken cw-Laser kamen verschiedene gepulste Lasersysteme zum Einsatz. Die Wellenlänge wurde in allen Fällen im nahen Infrarot gewählt, da Glas in diesem Bereich nur eine geringe Absorption aufweist und so Schädigungen des Glassubstrats unwahrscheinlich sind.

Im Ergebnis der Untersuchungen können für diese Anwendung kurzgepulste, hochrepetierende Festkörper- bzw. Faserlaser mit Wellenlängen im nahen Infrarot mit Scannerkopplung empfohlen werden. Schichtsysteme mit zusätzlichen Korrosionsschutzfunktionalitäten sind in der Entwicklung.

Eine andere in Polen ansässige Firma nutzt die im Fraunhofer IWS entwickelte Technologie des Remote-Laserstrahlschweißens im Produktionsumfeld. Für die Anlagenbediener vor Ort wurde vom Fraunhofer IWS eine umfangreiche Bedien- und Programmierschulung durchgeführt. Die Schulung diente

neben der Ausbildung neuer Bediener und Programmierer auch der Überführung von weiter- und neuentwickelten Funktionalitäten sowie dem Austausch über neue Anforderungen der Kunden an Anlage und Software.

Die Anlage zum Fügen von Plattenwärmetauschern ist mit einem x-y-Galvanometerscanner zur hochdynamischen Laserstrahlbewegung ausgestattet. Die Ansteuerung des Scanners, die Kommunikation zur übergeordneten CNC-Anlagensteuerung und die Kontrolle der schnellen Signale zur Laserstahlquelle werden durch eine vom Fraunhofer IWS in Kooperation mit der Technischen Universität Wrocław entwickelten Softwarelösung realisiert.

Die Programmierung der Schweißkonturen, die Aufteilung der Bewegungen zwischen Gesamtanlage und Scanner, sowie die Festlegung und Optimierung der Schweißreihenfolge übernimmt ein Offline-Programmiersystem, welches ebenfalls im IWS entwickelt wurde.

Die Zusammenarbeit zwischen den beiden Partneereinrichtungen wurde auch durch den Austausch von Personal weiter ausgebaut. Die Herstellung vielfältiger persönlicher Kontakte führte zu einer engen Kooperation beider Partner. Mit der Bestellung von Dr. Karol Kozak zum Honorarprofessor für Informationstechnologie wird die Kooperation in den folgenden Jahren vor allem im Bereich Informationstechnologie, Bild- und Datenverarbeitung weiter ausgebaut.



FRAUNHOFER-CENTER FOR COATINGS AND LASER APPLICATIONS (CCL)

Fraunhofer USA ist eine 100-prozentige Tochter der Fraunhofer-Gesellschaft. Ziele der Geschäftstätigkeit in den USA sind neben dem Technologietransfer vor allem das Erweitern der wissenschaftlichen Kompetenz durch intensive Zusammenarbeit mit Forschungszentren der internationalen Spitzenklasse und die Qualifikation von Mitarbeitern in einem internationalen Umfeld. Anlässlich ihres 20-jährigen Jubiläums lud der Präsident der Fraunhofer Gesellschaft, Herr Prof. Reimund Neugebauer, am 30. September 2014 zu einer Festveranstaltung nach Boston, Massachusetts ein. Im Rahmen der Feierlichkeiten wurde das neue Management-Team vorgestellt. Neuer Präsident von Fraunhofer USA ist Frank Treppe (Abb. 1 rechts). Herr Treppe ist gleichzeitig Hauptabteilungsleiter Unternehmensstrategie und Internationales bei der Fraunhofer-Gesellschaft. Neuer Executive Vice President ist Herr Dr. Patrick Bressler (Abb. 1 links).

Für die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung ist der US-amerikanische Markt einer der wichtigsten Innovationsmotoren. Aus diesem Grund fokussiert sich das Fraunhofer IWS seit mehr als zehn Jahren auf die Entwicklung ihrer Tochtergesellschaft, dem Fraunhofer-Center for Coatings and Laser Applications. Das Center hat sich erfolgreich im amerikanischen Forschungsmarkt etabliert. Im Jahr 2014 wurden von den 21 Mitarbeitern und 23 studentischen Hilfskräften Projekte im Wert von 5,5 Mio. Dollar bearbeitet, davon 3,2 Mio. Dollar im direkten Auftrag der Industrie.

Auch für die nächsten Jahre wird ein stetiges Wachstum angestrebt, was eine Umstrukturierung des Centers erforderlich machte. Ab 1.1.2015 agieren die beiden Teilbereiche des bisherigen Centers als eigenständige Center. Der Laserbereich des CCL fusionierte mit dem CLT (Center for Laser Technology) zum Center for Laser Applications (CLA).

CENTER DIREKTOR

PROF. JES ASMUSSEN

Telefon +48 71 320 2705

jasmussen@fraunhofer.org



DIRECTOR

COATING TECHNOLOGY DIVISION

DR. THOMAS SCHÜLKE

Telefon +1 517 432 8173

tschuelke@fraunhofer.org

East Lansing, Michigan 48824-1226, USA

www.ccd.fraunhofer.org



DIRECTOR

LASER APPLICATIONS DIVISION

CRAIG BRATT

Telefon +1 734 738 0550

cbratt@fraunhofer.org

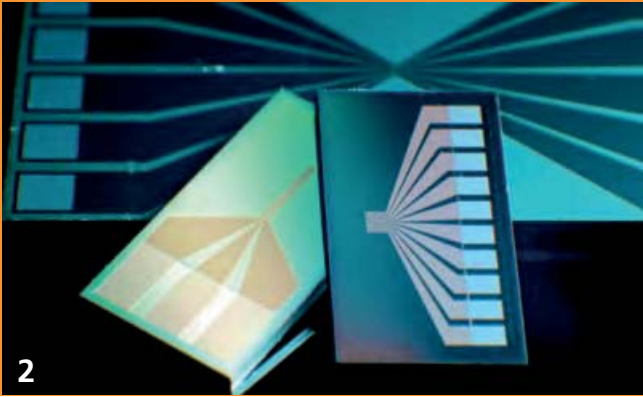
Plymouth, Michigan 48170-6080, USA

www.cla.fraunhofer.org



Das weiterhin in Plymouth angesiedelte Center wird vom bisherigen Division Director, Herrn Craig Bratt, geleitet. Der eng mit der Michigan State University MSU verknüpfte Teilbereich des CCL in East Lansing geht in das Center for Coatings and Diamond Technologies CCD über. Direktor dieses Centers ist Dr. Thomas Schülke.

Der langjährige Direktor des Fraunhofer CCL, Herr Prof. Dr. Jes Asmussen (Abb. 3, 2. v. r.), wurde am 5. Dezember 2014 feierlich von seinen Führungsaufgaben entbunden und widmet sich in Zukunft ausgewählten wissenschaftlichen Fragestellungen im Bereich der Diamantsynthese des CCD.



2

Coating Technology Division

Die CCL-Forscher entwickeln zuverlässige Fertigungsprozesse für maßgeschneiderte Bor-dotierte Diamantelektroden (Abb. 2). Dieses neue Elektrodenmaterial für elektrochemische Anwendungen übersteigt die elektrochemische Leistungsfähigkeit von metall-basierten Elektroden um ein Vielfaches. Zudem sind sie viel preisgünstiger als Platinelektroden.

Ingenieure vom CCL haben gemeinsam mit dem Fraunhofer IWS und einem führenden Anbieter für Antriebs- und Bremsanlagen eine neue Hochleistungskeramik zur Beschichtung bei Hochtemperaturumformprozessen entwickelt und getestet. Die Beschichtung der Spindeln erfolgte mit Hilfe eines physikalischen Dampfabscheidungsverfahrens. Die beschichteten Werkzeuge wurden im Fertigungsprozess zum Warmschmieden von Stahlteilen bei einer Betriebstemperatur von 1065 Grad Celsius eingesetzt. Im Vergleich zu unbeschichteten Werkzeugen hielten die beschichteten Spindeln dreimal so lang bevor sie ausgetauscht werden mussten – ein herausragendes Ergebnis.

Fraunhofer IWS und CCL Wissenschaftler wurden im Rahmen des »Netzwerk-Symposiums« der Fraunhofer-Gesellschaft gemeinsam mit dem »Fraunhofer Elevator Pitch Award« ausgezeichnet. Das Projektteam »QuelleSmart – Mobile Trinkwassersicherheit« wurde zur Förderung ausgewählt. Das Wissen von CCL zur Bor-dotierten Diamantbasis-Elektroden-Technologie in Verbindung mit der IWS-Entwicklung eines Detektors für die Schwermetallanalytik im Wasser konnte die Jury überzeugen.



3



4

Laser Applications Division

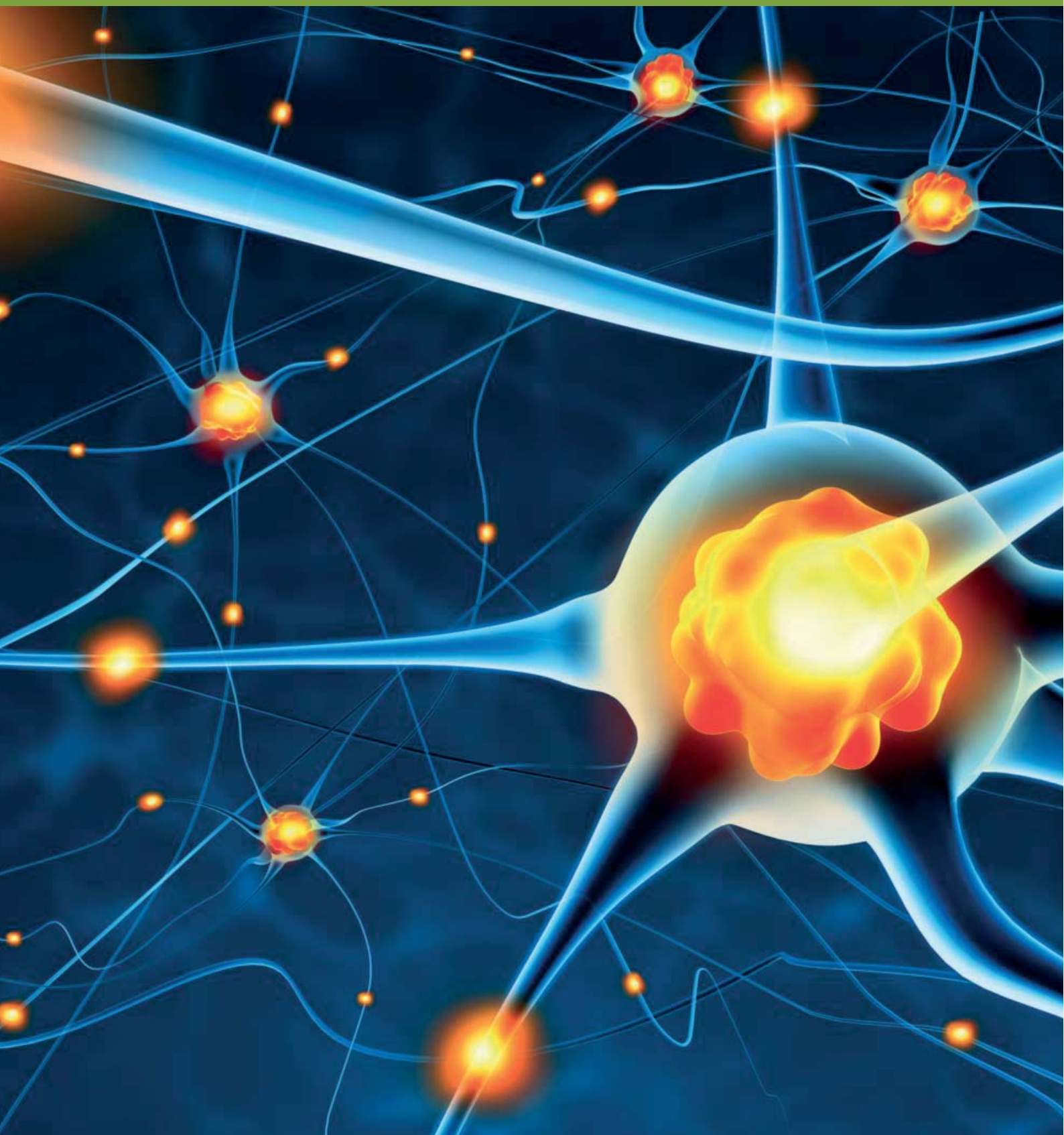
Die Laser Application Division CCL bietet ihren Kunden in Nordamerika Auftragsforschung und Entwicklungsdienstleistungen auf dem Gebiet der Hochleistungslaseranwendungen in den Bereichen Laserschweißen, Wärmebehandlung und Beschichtung sowie additive Fertigung an. Der Standort in Plymouth verfügt über hochmoderne Leistungslaser, CNC-Anlagen und Roboter.

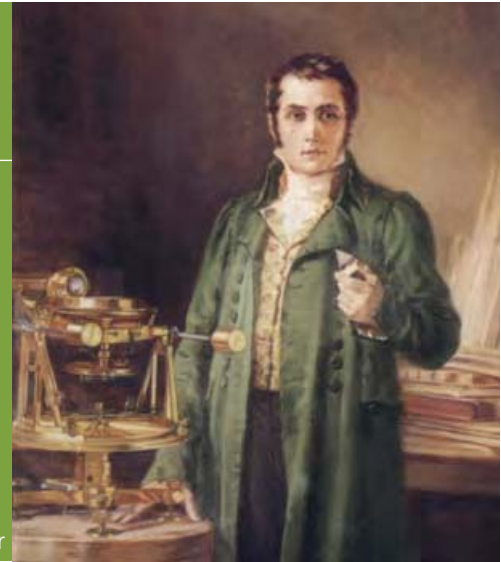
Im Jahr 2014 hat die Laser Applications Division eine neue CNC-Laserbearbeitungsmaschine installiert, die über die Dual-Core-Faser-Technologie verfügt. Die Anlage ermöglicht hochpräzise Laserbearbeitung bei extrem hohen Geschwindigkeiten. Diese Arbeitszelle hat einen komfortablen Arbeitsbereich von 4 m x 1,5 m. Die neue Dual-Core-Faser-Technologie erleichtert den schnellen Wechsel zwischen verschiedenen Anwendungen und reduziert so die Stillstandszeiten der Anlage. Einsatzgebiete für diese Anlage sind High-Speed-Laserschneiden, Laserschweißen und die additive Fertigung.

Industriekunden sehen die Laser Applications Division als ersten Entwicklungsstandort für Laseranwendungen in Nordamerika. Etwa 90 Prozent der Umsatzerlöse des Geschäftsbereichs ist durch Industrieprojekte finanziert. Das Center konzentriert sich auf die Entwicklung von Lasertechnologien für Anwendungen in der Öl- und Gasindustrie (Abb. 4), für die alternative Energiegewinnung, die Automobil- und Luftfahrtindustrie.

Das Center in Plymouth arbeitet eng mit einer großen Anzahl von Automobilunternehmen zusammen, um die Entwicklung neuer Lasertechnologien und Anwendungen für moderne Leichtbau-Fahrzeugstrukturen und Elektrofahrzeuge voranzutreiben. So entwickelte sich die Lithium-Ionen-Batterie-Technologie in den letzten fünf Jahren zu einer Kernkompetenz des CCL. Mehrere große Industriekunden im Batterie-Sektor nutzen die Laserschweißtechnologie des CCL inzwischen in der industriellen Produktion.

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 betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

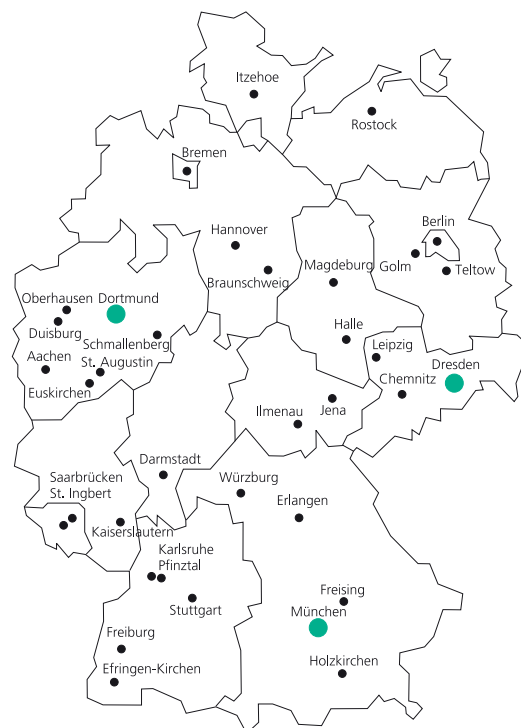
Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

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.





IWS



IPM



ILT



IST

FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

KOMPETENZ DURCH VERNETZUNG

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

KERNKOMPETENZEN DES VERBUNDS

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

KONTAKT

Verbundvorsitzender
Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Verbundassistentin
Susan Oxfart
Telefon +49 3641 807-207

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ORGANISCHE ELEKTRONIK, ELEKTRONENSTRAHL- UND PLASMATECHNIK FEP, DRESDEN

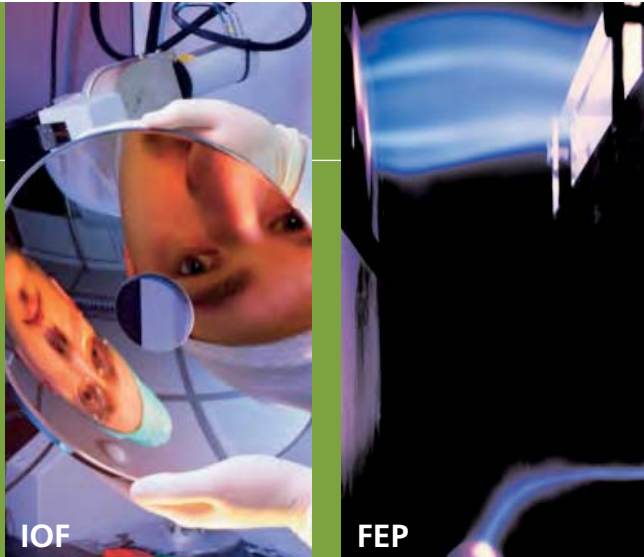
Die Kernkompetenzen des Fraunhofer FEP sind die Elektronenstrahltechnologie, die plasmaaktivierte Hochratebedampfung und die Hochrate-PECVD. Die Arbeitsgebiete umfassen die Vakuumbeschichtung sowie die Oberflächenbearbeitung und -behandlung mit Elektronen und Plasmen. Neben der Entwicklung von Schichtsystemen,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

www.fep.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT, AACHEN

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

www.ilt.fraunhofer.de



IOF

FEP

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE OPTIK UND FEINMECHANIK IOF, JENA

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

www.iof.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE MESSTECHNIK IPM, FREIBURG

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

www.ipm.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SCHICHT- UND OBERFLÄCHENTECHNIK IST, BRAUNSCHWEIG

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

www.ist.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLENTECHNIK IWS, DRESDEN

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

www.iws.fraunhofer.de



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 LASER- UND
OBERFLÄCHENTECHNIK**
**PROF. DR.-ING. HABIL. DR. H. C.
ECKHARD BEYER**



Themen:

- Lasersystemtechnik
- Laserbearbeitungsverfahren
- Plasmen in der Fertigungstechnik
- Oberflächentechnik
- Fertigungstechnik
- Laserrobotik

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 WERKSTOFFTECHNIK
PROF. DR.-ING.
CHRISTOPH LEYENS



Themen:

- metallische und intermetallische Hochtemperaturwerkstoffe
- Eisen- und Nichteisenwerkstoffe
- Oberflächen- und Beschichtungstechnik
- Gefüge-Eigenschaftsbeziehungen metallischer Werkstoffe



»Wissenschaft braucht Zusammenarbeit, in der sich das Wissen
des einen durch die Entdeckung des anderen bereichert.«
José Ortega y Gasset

**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

**FAKULTÄT MASCHINENWESEN
INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK**

**PROFESSUR FÜR NANO- UND SCHICHT-
TECHNOLOGIE
PROF. DR. RER. NAT.
ANDREAS LESON**



Themen:

- Nanotechnik
- Dünnschichttechnologie

**FAKULTÄT MASCHINENWESEN
INSTITUT FÜR WERKSTOFFWISSENSCHAFT**

**PROFESSUR FÜR WERKSTOFFPRÜFUNG
UND -CHARAKTERISIERUNG
PROF. DR.-ING.
MARTINA ZIMMERMANN**



Themen:

- mechanische Eigenschaften und Mikrostruktur
- Materialermüdung (spez.: Hochfrequenzprüftechnik)
- Schadensanalyse und Schadensprävention
- Struktur- und Bauteilzuverlässigkeit

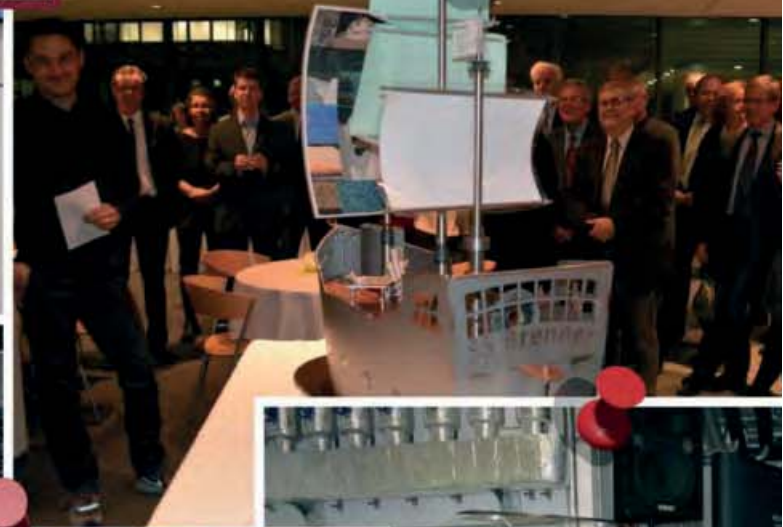
**FAKULTÄT MASCHINENWESEN
INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK**

**PROFESSUR FÜR PRODUKTIONSTECHNIK
STEINBEISHOCHSCHULE
PROF. DR.-ING.
ULRICH GÜNTHER**



Themen:

- spanende Oberflächenbearbeitung
- Produktionsgestaltung



BESONDERE EREIGNISSE

27.-28. FEBRUAR 2014

8. Internationales Lasersymposium »Fiber, Disc, Diode« und 2. Internationales Füge-technische Symposium »Tailored Joining« im Internationalen Congress Center Dresden (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

26.-27. MÄRZ 2014

TAW-Symposium »Beschichten und Generieren mit laserbasierten Fertigungsverfahren« der Technischen Akademie Wuppertal e. V. in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IWS Dresden und FriBa Lasernet Holzkirchen

27. MÄRZ 2014

Beteiligung des Fraunhofer IWS Dresden am bundesweiten »Girls Day«

31. MÄRZ 2014

Übernahme des 3. Bauabschnittes des Fraunhofer IWS Dresden zum Ausbau der Aktivitäten in der Nanotechnologie

1.-3. JULI 2014

10. Internationales Nanotechnologie-Symposium »Nanofair – Neue Ideen für die Industrie« in Verbindung mit dem »2. Dresdner Nanoanalytik-Symposium« im Internationalen Congress Center Dresden (Organisatoren: Fraunhofer IWS Dresden, Dresden Center for Nanoanalysis (DCN), Landeshauptstadt Dresden)

4. JULI 2014

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

18.-22. AUGUST 2014

Wissenschaftscampus der Fraunhofer-Gesellschaft in Dresden (Organisator: Fraunhofer-Zentrale)

25.-29. AUGUST 2014

3. Internationale Sommerschule »Trends und neue Entwicklungen in der Lasertechnologie« (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

11. NOVEMBER 2014

Kolloquium »Werkstoffoptimierte Lasertechnologien« anlässlich des 65. Geburtstages von Prof. Dr. Berndt Brenner (Organisator: Fraunhofer IWS Dresden)

12.-13. NOVEMBER 2014

3. Workshop »Lithium-Schwefel-Batterien« im Fraunhofer IWS Dresden (Organisatoren: Fraunhofer IWS Dresden, Institut für Anorganische Chemie der TU Dresden)

27. NOVEMBER 2014

Workshop »Ultrabarrierematerialien: Herstellung und Messung« im Fraunhofer IWS Dresden (Organisatoren: Fraunhofer IWS und FEP Dresden, Organic Electronics Saxony e. V.)

27. NOVEMBER 2014

Übernahme des 4. Bauabschnittes des Fraunhofer IWS Dresden und Aufbau des Zentrums für ressourcenschonende Energietechnologien RESET

AUSZEICHNUNGEN UND EHRUNGEN



In Würdigung ihrer herausragenden Verdienste auf dem Gebiet der Werkstoffprüfung verliehen die Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM), der Deutsche Verband für Materialforschung und -prüfung e. V. (DVM) und das Stahlinstitut VDEh Frau **Prof. Dr. Martina Zimmermann** den Galileo-Preis Werkstoffprüfung 2014.

Durch ihre aktive und überaus erfolgreiche Beschäftigung mit den experimentellen Herausforderungen und den theoretischen Grundlagen des Themengebiets Very High Cycle Fatigue (VHCF) konnte Frau Prof. Zimmermann einen bedeutenden Beitrag zur Schaffung einer soliden Kenntnisbasis zum Ermüdungsverhalten metallischer Konstruktionswerkstoffe bei sehr hohen Zyklenzahlen und zur Stimulation nationaler und internationaler Forschungsaktivitäten leisten.



Herr **Prof. Dr. Andreas Leson** (Abb. rechts), stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer IWS, wurde auf dem 11. Symposium der European Vacuum Coaters in Anzio für sein Engagement im Bereich »Dünne Schichten« ausgezeichnet. Mit dem Preis »A life for thin film« werden Persönlichkeiten aus der Schicht- und Oberflächentechnik geehrt, die ihre Karriere der Verbindung aus Forschung, Leben und Kunst gewidmet haben.

Dr. Wulf Grähler, Dr. Harald Beese und **Prof. Dr. Stefan Kaskel** gewannen auf der 10th International Conference on Coatings on Glass and Plastics ICCG im Juni in Dresden gemeinsam mit Johannes Grübler, Jörg Koch von der Firma Sempa Systems den Hans Pulkner Award. Prämiert wurde ihr Poster mit dem Titel »New concepts for the reliable testing of the water vapor transmission rate of ultra-high barrier coatings in the range of 10^{-4} to 10^{-6} g m⁻² d⁻¹«.

Für das Poster »Neuartige Korrosionsschutzsysteme für Blechbauteile« erhielt das Projektkonsortium KOWUB beim BMBF-Forum MatResource »Die Förderinitiative des BMBF zu Materialien im Kontext von Ressourcen, Recycling, Substitution, Katalyse und Korrosionsschutz« im September 2014 in Darmstadt den 1. Preis. Geehrt wurden damit die IWS Mitarbeiter **Dr. Axel Zwick** und **Dr. Thomas Stucky** sowie **Dr. Slavcho Topalski** sowie Forscher von ThyssenKrupp Steel Europe und der Daimler AG.

Am 17. Dezember wurden die IWS-Preisträger des Jahres 2014 gekürt.

Für die Entwicklung von neuen Fügetechnologien für zukünftige metallische Rumpfstrukturen wurden **Andreas Grimm, Sebastian Schulze, René Eger** und **Robert Plach** mit dem Preis für die beste wissenschaftlich-technische Leistung ausgezeichnet. Sie entwickelten flexible Vorrichtungen, welche mittels Vakuum-Pads an den Rumpfschalen befestigt und positionsgenau ausgerichtet werden. Ein elektromotorisch angetriebener Führungswagen bewegt auf zwei bauteilbezogenen Führungsschienen eine Spindel für das Trimmen der Kanten und das Rührreibschweißen der Bauteile. Durch die direkte Kopplung des Kraftflusses von Schale, Führung, Führungswagen und Werkzeug kann auf klassische Schweißanlagen und Spanntechnik verzichtet werden. Die Forscher konnten nachweisen, dass mit dem MUVAX genannten System eine effiziente Fertigung metallischer Flugzeugrumpfstrukturen mit signifikanter Gewichtsreduzierung und geringen Fertigungskosten möglich ist (siehe auch Seiten 30/31).



Der Preis für die beste innovative Produktidee zur Eröffnung eines neuen Geschäftsfeldes ging an Herrn **Jens Liebscher**. Er suchte nach Möglichkeiten zur Übertragung des für die Luftfahrt entwickelten beidseitig-gleichzeitigen Laserstrahlschweißens auf Bauteile der Schienenfahrzeugindustrie und konnte die schweißtechnische Umsetzbarkeit kompletter Seitenwandstrukturen mittels Laserstrahlschweißen nachweisen. Durch eine flexible, dabei aber überaus kostengünstige Spannvorrichtung gelang das nahezu spaltfreie Zusammenfügen der Verstärkungselemente mit dem Außenblech, wodurch Schweißzusatzdraht zur Spaltkompensation eingespart, Gewicht, Verzug und Fertigungszeiten minimiert und Fertigungskosten nachhaltig verringert wurden (siehe auch Seiten 28/29).

Frau **Dr. Elena López** erhielt einen der beiden Preise für die beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers. Sie widmete sich in ihrer Promotionsarbeit dem Thema »Plasmachemisches Trockenätzen von Solarwafern mit Atmosphärendruck-Plasmen«. Das von ihr entwickelte plasmachemische Ätzen bei Atmosphärendruck wurde erfolgreich für die Kantenisolation von unterschiedlichen Wafersorten angewendet. Das durch mehrere Patente geschützte Verfahren zeichnet sich durch Flexibilität der Technologie in Bezug auf die Behandlung von unterschiedlichen Zellenkonzepten, hohe Wirkungsgrade und bessere Lichteinkopplung in der Solarzelle aus.

Auch die Arbeiten von Herrn **Erik Pflug** wurden mit dem Preis für die beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers ausgezeichnet. Er entwickelte eine Technologie zum Verbinden von Polymeren, CFK, GFK und deren Hybridverbindungen mit Metall mittels Reaktiv-Multischicht-Systemen (RMS). Über das stöchiometrische Verhältnis von Ni zu Al oder die Periodendicke des Gesamtschichtstapels wird die Energie des Systems an die jeweilige Fügeanwendung angepasst. Thermoplaste sowie glasfaserverstärktes Polyamid (PA) und kohlefaserverstärktes Polyetherimid (PEI) kann mittels RMS innerhalb weniger Sekunden gefügt werden, ohne Vorbehandlung der Fügepartner.

Die Forschungsarbeiten von Herrn **Markus Mielke** zur »Nutzung von AlSi-Loten zum Fügen von Bauteilen mittels Reaktiv-Multischicht-Systemen (RMS)« wurden als herausragende studentische Leistung geehrt. Durch die Kombination von RMS mit Al-Si-Lot konnten unterschiedliche Materialkombinationen erfolgreich hartgelötet und teures Silberlot ersetzt werden (siehe auch Seiten 102/103).

Auch die Arbeiten von Herrn **Florian Gruber** wurden als herausragende studentische Leistung ausgezeichnet. Herr Gruber charakterisierte großflächig verschiedene OLED-Schichten hinsichtlich der lateralen Schichtdickenverteilung sowie Verunreinigungen und Fehlstellen mittels Hyperspectral Imaging (HSI).

Zudem wurde das von Herrn **Nick Kulissa** entwickelte automatisierte Fördersystem zur Einbringung nanopartikelhaltiger Suspension für das thermische Spritzen (siehe auch Seiten 50/51) als herausragende studentische Leistung prämiert. Das modulare Ausrüstset zum Suspensions-spritzen aus drei getrennten Druckbehältern ist eine wirtschaftlich überaus attraktive Lösung für Unternehmen.

Der Sonderpreis des Institutes ging an Frau **Kerstin Zenner** und Herrn **René Zenner** für ihre hervorragenden Prozessanimationen und Präsentationen.



Florian Gruber, Eckhard Beyer, René Zenner, Anja Techel, Kerstin Zenner, Andreas Leson, Sebastian Schulze, Andreas Grimm, Robert Plach, Jens Liebscher, Elena López, Markus Mielke, René Eger, Erik Pflug (v.l.n.r.)

VERÖFFENTLICHUNGEN

[L1]

Asafa, T.B.; Witvrouw, A.; Schneider, D.; Moussa, A.; Tabet, N.; Said, S.A.M.:

»Thickness effect on the structural and electrical properties of poly-SiGe films.«

Materials research bulletin 49 (2014), Nr.1, S.102-107
DOI: 10.1016/j.materresbull.2013.08.054

[L2]

Barbosa, M.M.; Puschmann, R.; Thiele, S.; Toma, F.-L.; Martin, H.P.; Berger, L.-M.; Leyens, C.; Beyer, E.; Laag, N.J. van der:

»Development of thermally sprayed $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ coatings for thermoelectrical applications.«

Deutscher Verband für Schweißen und Verwandte Verfahren e. V. -DVS-; The Thermal Spray Society - TSS-; International Institute of Welding -IIW-: ITSC 2014, International Thermal Spray Conference & Exposition: Abstracts (including manuscripts on CD-ROM) of the conference in Barcelona, Spain, on May 21-23, 2014
Düsseldorf: DVS Media, 2014, S.485-490
(DVS-Berichte 302)

[L3]

Bauer, I.; Thieme, S.; Brückner, J.; Althues, H.; Kaskel, S.:

»Reduced polysulfide shuttle in lithium-sulfur batteries using Nafion-based separators.«

Journal of power sources 251 (2014), S.417-422
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2013.11.090

[L4]

Bauer, I.; Kohl, M.; Althues, H.; Kaskel, S.:

»Shuttle suppression in room temperature sodium-sulfur batteries using ion selective polymer membranes.«

Chemical communications 50 (2014), Nr.24, S.3208-3210
DOI: 10.1039/c4cc00161c

[L5]

Bellmann, J.; Wagner, M.; Jahn, A.; Brenner, B.; Kröger, M.:

»Stahl-Aluminium-Mischverbindungen für belastungsgerechten Werkstoffeinsatz.«

Lightweight design (2014), Nr.6, S.30-35

[L6]

Berger, L.-M.; Shakhverdova, I.; Puschmann, R.; Gräfensteiner, D.M.; Leidich, E.; Schiefer, S.; Gerlach, M.:

»Investigation of HVOF-sprayed (Ti,Mo)(C,N)-Ni hardmetal coatings for static friction applications.«

Deutscher Verband für Schweißen und Verwandte Verfahren e. V. -DVS-; The Thermal Spray Society - TSS-; International Institute of Welding -IIW-: ITSC 2014, International Thermal Spray Conference & Exposition: Abstracts (including manuscripts on CD-ROM) of the conference in Barcelona, Spain, on May 21-23, 2014
Düsseldorf: DVS Media, 2014, S.239-245
(DVS-Berichte 302)

[L7]

Berger, L.-M.; Toma, F.-L.; Scheitz, S.; Trache, R.; Börner, T.:

»Thermisch gespritzte Schichten im System Al_2O_3 - Cr_2O_3 - TiO_2 - ein Update.«

Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 45 (2014), Nr.6, S.465-475
DOI: 10.1002/mawe.201400260

[L8]

Berger, L.-M.:

»Application of hardmetals as thermal spray coatings.«

International journal of refractory metals and hard materials (2014), Online First, 15 S.
DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2014.09.029

[L9]

Berger, L.-M.; Thiele, S.; Börner, T.; Janka, L.C.; Rodriguez R.M.:

»Influence of Cr_3C_2 -NiCr feedstock powder characteristics on the deposition efficiency, coating microstructures and abrasion wear resistance.«

Deutscher Verband für Schweißen und Verwandte Verfahren e. V. -DVS-; The Thermal Spray Society - TSS-; International Institute of Welding -IIW-: ITSC 2014, International Thermal Spray Conference & Exposition: Abstracts (including manuscripts on CD-ROM) of the conference in Barcelona, Spain, on May 21-23, 2014
Düsseldorf: DVS Media, 2014, S.806-812
(DVS-Berichte 302)

[L10]

Biemelt, T.; Selzer, C.; Schmidt, F.; Mondin, G.; Seifert, A.; Pinkert, K.; Spange, S.; Gemming, T.; Kaskel, S.:

»Hierarchical porous zeolite ZSM-58 derived by desilication and desilication re-assembly.«

Microporous and mesoporous materials 187 (2014), S.114-124
DOI: 10.1016/j.micromeso.2013.12.028

[L11]

Boelli, G.; Berger, L.-M.; Bonetti, M.; Lusvardi, L.:

»Comparative study of the dry sliding wear behaviour of HVOF-sprayed WC-(W,Cr)₂C-Ni and WC-CoCr hardmetal coatings.«

Wear 309 (2014), Nr.1-2, S.96-111
DOI: 10.1016/j.wear.2013.11.001

[L12]

Braun, S.:

»Röntgenlinsen für die Nanoanalytik.«

Laser-Magazin (2014), Nr.3, S.60-61

[L13]

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

»Specific aspects of roughness and interface diffusion in non-periodic MoSi multilayers.«

Morawe, C. ; Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers - SPIE-, Bellingham/Wash.: Advances in X-Ray/EUV Optics and Components IX : 18_DS20 August 2014, San Diego, California Bellingham, WA: SPIE, 2014, Paper 920707, 10 S.
(Proceedings of SPIE 9207)
DOI: 10.1117/12.2062193

- [L14]**
Brückner, J.; Thieme, S.; Böttger-Hiller, F.; Bauer, I.; Grossmann, T.; Strubel, P.; Althues, H.; Spange, S.; Kaskel, S.:
»Carbon-based anodes for lithium sulfur full cells with high cycle stability.«
Advanced Functional Materials 24 (2014), Nr.9, S.1284-1289
DOI: 10.1002/adfm.201302169
- [L15]**
Brückner, J.; Thieme, S.; Grossmann, H.T.; Dörfler, S.; Althues, H.; Kaskel, S.:
»Lithium-sulfur batteries: Influence of C-rate, amount of electrolyte and sulfur loading on cycle performance.«
Journal of power sources 268 (2014), S.82-87
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.05.143
- [L16]**
Dörfler, S.; Pinkert, K.; Weiser, M.; Wabnitz, C.; Goldberg, A.; Ferse, B.; Giebeler, L.; Althues, H.; Schneider, M.; Eckert, J.; Michaelis, A.; Beyer, E.; Kaskel, S.:
»D2 enertrode: Production technologies and component integration of nanostructured carbon electrodes for energy technology - functionalized carbon materials for efficient electrical energy supply.«
Advanced engineering materials 16 (2014), Nr.10, S.1196-1201
DOI: 10.1002/adem.201400184
- [L17]**
Goppold, S.; Zanger, K.; Herwig, P.; Wetzig, A.; Mahrle, A.; Beyer, E.:
»Experimental analysis for improvements of process efficiency and cut edge quality of fusion cutting with 1 µm laser radiation.«
Schmidt, F.: Laser Assisted Net Shape Engineering 8: International Conference on Photonic Technologies, Proceedings of the LANE 2014, September 08-11, 2014, Fürth, Germany
Amsterdam: Elsevier, 2014, S.892-900
(Physics Procedia 56.2014)
DOI: 10.1016/j.phpro.2014.08.108
- [L18]**
Götze, A.; Makowski, S.; Kunze, T.; Hübner, M.; Zellbeck, H.; Weihnacht, V.; Leson, A.; Beyer, E.; Joswig, J.-O.; Seifert, G.; Abrasonis, G.; Posselt, M.; Fassbender, J.; Möller, W.; Gemming, S.; Krause, M.:
»Tetrahedral amorphous carbon coatings for friction reduction of the valve train in internal combustion engines.«
Advanced engineering materials 16 (2014), Nr.10, S.1226-1233
DOI: 10.1002/adem.201400188
- [L19]**
Grigoriev, S.N.; Tarasova, T.V.; Gvozdeva, G.O.; Nowotny, S.:
»Microcladding of hypereutectic Al-Si alloys: technological aspects and structure features.«
International journal of cast metals research 27 (2014), Nr.6, S.357-361
DOI: 10.1179/1743133614Y.0000000119
- [L20]**
Grigoriev, S.N.; Tarasova, T.V.; Gvozdeva, G.O.; Nowotny, S.:
»Solidification behaviour during laser microcladding of Al-Si alloys.«
Surface and coatings technology (2014), Online First, 7 S.
DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.08.001
- [L21]**
Grigoriev, S.N.; Tarasova, T.V.; Gvozdeva, G.O.; Nowotny, S.:
»Structure formation of hypereutectic Al-Si-alloys produced by laser surface treatment.«
Strojnicki vestnik = Journal of mechanical engineering 60 (2014), Nr.6, S.389-394
DOI: 10.5545/sv-jme.2013.1211
- [L22]**
Grünzweig, C.; Siebert, R.; Betz, B.; Rauscher, P.; Schäfer, R.; Lehmann, E.:
»Determination of bulk magnetic volume properties by neutron dark-field imaging.«
Schneider, J.; TU Bergakademie Freiberg, Institut für Metallformung; Univ. Gent: 6th International Conference on Magnetism and Metallurgy, WMM 2014: Cardiff, UK, June 17th to 19th, 2014
Cardiff: Spectrum Printing, 2014, S.351-359
- [L23]**
Hagen, M.; Quiroga-González, E.; Dörfler, S.; Fahrner, G.; Tübke, J.; Hoffmann, M.J.; Althues, H.; Speck, R.; Krampfert, M.; Kaskel, S.; Föll, H.:
»Studies on preventing Li dendrite formation in Li-S batteries by using pre-lithiated Si microwire anodes.«
Journal of power sources 248 (2014), S.1058-1066
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2013.09.144
- [L24]**
Heitmanek, M.; Dobler, M.; Graudenz, M.; Perret, W.; Göbel, Gunther; Schmidt, M.; Beyer, E.:
»Laser brazing with beam scanning: Experimental and simulative analysis.«
Schmidt, F.: Laser Assisted Net Shape Engineering 8 : International Conference on Photonic Technologies, Proceedings of the LANE 2014, September 08-11, 2014, Fürth, Germany
Amsterdam: Elsevier, 2014, S.689-698
(Physics Procedia 56.2014)
DOI: 10.1016/j.phpro.2014.08.076
- [L25]**
Henseleit, A.; Stürmer, J.; Pohl, C.; Hausteil, N.; Sonntag, F.; Bley, T.; Boschke, E.:
»Surface plasmon resonance based detection of human serum albumin as a marker for hepatocytes activity.«
Institute of Electrical and Electronics Engineers -IEEE-: Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, ISSNIP 2014 : Singapore, 21 - 24 April 2014 Piscataway, NJ: IEEE, 2014, S.80-84
DOI: 10.1109/ISSNIP.2014.6827601
- [L26]**
Kaspar, J.; Zimmermann, M.; Ostwaldt, A.; Göbel, G.; Standfuß, J.; Brenner, B.:
»Challenges in joining aluminium with copper for applications in electro mobility.«
Mishra, B.; The Minerals, Metals and Materials Society -TMS-, Warrendale/Pa.: THERMEC 2013, 8th International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials. Proceedings: December 2 - 6, 2013, Las Vegas, USA
Durnten-Zürich: Trans Tech, 2014, S.1747-1752 (Materials Science Forum 783-786)
DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.1747
- [L27]**
Kaulfuß, F.; Zimmer, O.:
»Temperaturstabile Hartstoffschichten zur Standzeitverlängerung von Schmiedewerkzeugen.«
Sörgel, T.: Jahrbuch Oberflächen-technik. Bd.70
Saulgau: Leuze, 2014, S.61-70
- [L28]**
Klotzbach, U.; Sonntag, F.; Grünzner, S.; Busek, M.; Schmieder, F.; Franke, V.:
»Multilayer-based lab-on-a-chip systems for perfused cell-based assays.«
Advanced Optical Technologies 3 (2014), Nr.5-6, S.515-521
DOI: 10.1515/aot-2014-0046
- [L29]**
Köckritz, T.; Jansen, I.; Beyer, E.:
»Modifikation eines additionsvernetzten Silicons _DS Kombination verschieden modifizierter Elastomerschichten zur Herstellung eines Polymeraktors.«
TH Aachen -RWTH-, Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik - ISF-: 3. Doktorandenseminar Klebtechnik: Vorträge der gleichnamigen Veranstaltung in Kassel am 5. und 6. November 2012
Düsseldorf: DVS Media, 2014, S.6-11
(DVS-Berichte 303)
- [L30]**
Kotte, L.; Haag, J.; Mertens, T.; Kaskel, S.:
»Atmospheric plasma deposition of SiO₂ films for adhesion promoting layers on titanium.«
Metals 4 (2014), Nr.4, S.639-646
DOI: 10.3390/met4040639

[L31]

Krätzer, L.; Lorenz, H.; Berthold, C.; Sonntag, F:

»ARM-basierte, echtzeitfähige Hardwareplattform für Datenerfassung, Signalverarbeitung und eHealth.«

Förster, A.: 5. Dresdner Medizintechnik Symposium 2014 : Biomedizinische Technik_DS Von der Grundlagenforschung zum Transfer, 01.-03.12.2014, Dresden
Stuttgart: Steinbeis-Edition, 2014, S.59-62 (Reports on Biomedical Engineering 2)
URL: <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-321979.html>

[L32]

Kubec, A.; Braun, S.; Niese, S.; Krüger, P.; Patommel, J.; Hecker, M.; Leson, A.; Schroer, C.G.:

»Ptychography with multilayer Laue lenses.«

Journal of synchrotron radiation 21 (2014), Nr.5, S.1122-1127
DOI: 10.1107/S1600577514014556

[L33]

Lasagni, A.; Roch, T.; Bieda, M.; Benke, D.; Beyer, E.:

»High speed surface functionalization using direct laser interference patterning, towards 1 m²/min fabrication speed with sub-µm resolution.«

Klotzbach, U. ; Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers - SPIE-, Bellingham/Wash.:
Laser-based Micro- and Nanoprocessing VIII: February 2014, San Francisco, California, United States Bellingham, WA: SPIE, 2014, Paper 89680A, 9 S.
(SPIE Proceedings 8968)
DOI: 10.1117/12.2041215

[L34]

Leifert, A.; Mondin, G.; Doerfler, S.; Hampel, S.; Kaskel, S.; Hofmann, E.; Zschetzsch, J.; Pflug, E.; Dietrich, G.; Rühl, M.; Braun, S.; Schädlich, S.:

»Fabrication of nanoparticle-containing films and nano layers for alloying and joining.«

Advanced engineering materials 16 (2014), Nr.10, S.1264_DS1269
DOI: 10.1002/adem.201400196

[L35]

Leson, A.:

»Neue Werkstoffe sind für die Entwicklung nachhaltiger Produkte entscheidend.«

Vakuum in Forschung und Praxis 26 (2014), Nr.3, S.38-39
DOI: 10.1002/vipr.201490022

[L36]

Linashcke, D.; Schilling, N.; Dani, I.; Klotzbach, U.; Leyens, C.:

»Highly n-doped surfaces on n-type silicon wafers by laser-chemical processes.«

Energy Procedia 55 (2014), S.247_DS254
DOI: 10.1016/j.egypro.2014.08.076

[L37]

Lode, A.; Meissner, K.; Luo, Y.; Sonntag, F.; Glorius, S.; Nies, B.; Vater, C.; Despang, F.; Hanke, T.; Gelinsky, M.:

»Fabrication of porous scaffolds by three-dimensional plotting of a pasty calcium phosphate bone cement under mild conditions.«

Journal of tissue engineering and regenerative medicine 8 (2014), Nr.9, S.682-693
DOI: 10.1002/term.1563

[L38]

Lueg-Althoff, J.; Lorenz, A.; Gies, S.; Weddeling, C.; Göbel, G.; Tekkaya, A.; Beyer, E.:

»Magnetic pulse welding by electromagnetic compression: Determination of the impact velocity.«

Groche, Peter: Tribology in Manufacturing Processes & Joining by Plastic Deformation: Selected, peer reviewed papers from the 6th International Conference on Tribology in Manufacturing Processes & Joining by Plastic Deformation, ICTMP 2014, June 22-24, 2014, Darmstadt, Germany
Dürnten: Trans Tech Publications, 2014, S.489-499 (Advanced materials research 966-967)
DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.966-967.489

[L39]

Mahrle, A.; Rose, S.; Beyer, E.; Füssel, U.:

»Crucial role of beam spot position in laser assisted plasma arc welding.«

Science and technology of welding and joining 19 (2014), Nr.2, S.119-124
DOI: 10.1179/1362171813Y.0000000173

[L40]

Mahrle, A.; Rose, S.; Lohse, M.; Beyer, E.; Füssel, U.:

»Interaction mechanism in hybrid laser arc welding.«

Kaierle, S. (Congress General Chair); Laser Institute of America - LIA-: ICALEO 2014, 33rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics. Congress proceedings. CD-ROM: October 19-23, 2014, San Diego, CA, USA Orlando, Fla.: LIA, 2014, Paper 1202, 10 S.
DOI: 10.13140/2.1.3470.1769

[L41]

Makowski, S.; Weihnacht, V.; Schaller, F.; Leson, A.:

»Ultra-low friction of biodiesel lubricated ta-C coatings.«

Tribology international 71 (2014), S.120-124
DOI: 10.1016/j.triboint.2013.11.002

[L42]

Materne, E.M.; Wagner, I.; Hasenberg, T.; Lorenz, A.; Schimek, K.; Horland, R.; Hoffmann, S.; Busek, Mathias; Sonntag, Frank; Klotzbach, Udo; Lauster, R.; Marx, U.:

»The multi-organ-chip (MOC) - a universal microfluidic platform for long-term tissue maintenance and substance testing.«

Journal of tissue engineering and regenerative medicine 8 (2014), Supplement 1, S.378-379
DOI: 10.1002/term.1932

[L43]

Meier, A.; Weinberger, M.; Pinkert, K.; Oschatz, M.; Paasch, S.; Giebler, L.; Althues, H.; Brunner, E.; Eckert, J.; Kaskel, S.:

»Silicon oxycarbide-derived carbons from a polyphenylsilsequioxane precursor for supercapacitor applications.«

Microporous and mesoporous materials 188 (2014), S.140-148
DOI: 10.1016/j.micromeso.2013.12.022

[L44]

Nickel, W.; Oschatz, M.; Lehr, M. von der; Leistner, M.; Hao, G.; Adelmüller, P.; Müller, P.; Smarsly, B.; Kaskel, S.:

»Direct synthesis of carbide-derived carbon monoliths with hierarchical pore design by hard-templating.«

Journal of materials chemistry. A, Materials for energy and sustainability 2 (2014), Nr.32, S.12703-12707
DOI: 10.1039/c4ta02260b

[L45]

Niese, S.; Krüger, P.; Kubec, A.; Laas, R.; Gawlitza, P.; Melzer, K.; Braun, S.; Zschech, E.:

»Fabrication of customizable wedged multilayer Laue lenses by adding a stress layer.«

Thin solid films 571 (2014), Nr.2, S.321_DS324
DOI: 10.1016/j.tsf.2014.02.095

[L46]

Niese, S.; Krüger, P.; Kubec, A.; Braun, S.; Patommel, J.; Schroer, C.G.; Leson, A.; Zschech, E.:

»Full-field X-ray microscopy with crossed partial multilayer Laue lenses.«

Optics Express 22 (2014), Nr.17, S.20008-20013
DOI: 10.1364/OE.22.020008

[L47]

Nisato, G.; Klumbies, H.; Fahlteich, J.; Müller-Meskamp, L.; Weijer, P. van de; Bouten, P.; Boeffel, C.; Leuenberger, D.; Grählert, W.; Edge, S.; Cros, S.; Brewer, P.; Kucukpinar, E.; Girolamo, J. de ; Srinivasan, P.:

»Experimental comparison of high-performance water vapor permeation measurement methods.«

Organic Electronics 15 (2014), Nr.12, S.3746-3755
DOI: 10.1016/j.orgel.2014.10.014

- [L48]**
Nowotny, S.; Berger, L.-M.; Spatzier, J.:
»Coatings by laser cladding.«
Sarin, V.K.; Mari, D.: Comprehensive hard materials. Vol.1: Hardmetals
Amsterdam: Elsevier, 2014, S.507-525
DOI: 10.1016/B978-0-08-096527-7.00018-0
- [L49]**
Oschatz, M.; Borchardt, L.; Pinkert, K.; Thieme, S.; Lohe, M.R.; Hoffmann, C.; Benusch, M.; Wissner, F.M.; Ziegler, C.; Giebeler, L.; Rümeli, M.H.; Eckert, J.; Eychmüller, A.; Kaskel, S.:
»Hierarchical carbide-derived carbon foams with advanced mesostructure as a versatile electrochemical energy-storage material.«
Advanced energy materials 4 (2014), Nr.2, Art. 1300645, 9 S.
DOI: 10.1002/aenm.201300645
- [L50]**
Oschatz, M.; Nickel, W.; Thommes, M.; Cychosz, K.A.; Leistner, M.; Adam, M.A.; Mondin, G.; Strubel, P.; Borchardt, L.; Kaskel, S.:
»Evolution of porosity in carbide-derived carbon aerogels.«
Journal of materials chemistry. A, Materials for energy and sustainability 2 (2014), Nr.43, S.18472-18479
DOI: 10.1039/c4ta03401e
- [L51]**
Pap, J.-S.; Jansen, I.; Beyer, E.:
»Strukturelles Kleben von textilverstärkten Thermoplasten mit zäh elastischen Klebstoffen.«
TH Aachen -RWTH-, Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik - ISF-: 3. Doktorandenseminar Klebtechnik: Vorträge der gleichnamigen Veranstaltung in Kassel am 5. und 6. November 2012
Düsseldorf: DVS Media, 2014, S.33-39
(DVS-Berichte 303)
- [L52]**
Piccoli, R.; Robin, T.; Méchin, D.; Brand, T.; Klotzbach, U.; Taccheo, S.:
»Effective mitigation of photodarkening in Yb-doped lasers based on Al-silicate using UV/visible light.«
Ramachandran, S.; Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers -SPIE-, Bellingham/Wash.: Fiber Lasers XI. Technology, Systems, and Applications: 3 - 6 February 2014, San Francisco, California, United States Bellingham, WA: SPIE, 2014, Paper 896121 (SPIE Proceedings 8961)
DOI: 10.1117/12.2039013
- [L53]**
Piccoli, R.; Robin, T.; Brand, T.; Klotzbach, U.; Taccheo, S.:
»Effective photodarkening suppression in Yb-doped fiber lasers by visible light injection.«
Optics Express 22 (2014), Nr.7, S.7638-7643
DOI: 10.1364/OE.22.007638
- [L54]**
Puschmann, R.; Barbosa, M.M.; Scheitz, S.; Berger, L.-M.; Toma, F.-L.; Leyens, C.; Beyer, E.:
»Technological approach for a full thermally sprayed thermoelectric generator.«
Deutscher Verband für Schweißen und Verwandte Verfahren e. V. -DVS-; The Thermal Spray Society -TSS-; International Institute of Welding -IIW-: ITSC 2014, International Thermal Spray Conference & Exposition: Abstracts (including manuscripts on CD-ROM) of the conference in Barcelona, Spain, on May 21-23, 2014
Düsseldorf: DVS Media, 2014, S.513-518
(DVS-Berichte 302)
- [L55]**
Rauscher, P.; Hauptmann, J.; Wetzig, A.; Beyer, E.:
»Domain refinement of grain oriented electrical steel with high power laser beam sources.«
International journal of modern physics B 28 (2014), Nr.12, Art. 1442003, 11 S.
DOI: 10.1142/S021797921442003X
- [L56]**
Rauscher, P.; Schröder, N.; Hauptmann, J.; Wetzig, A.; Beyer, E.:
»Effects of laser irradiation on the isolation layer of grain oriented electrical steel.«
Schneider, J.; TU Bergakademie Freiberg, Institut für Metallformung; Univ. Gent: 6th International Conference on Magnetism and Metallurgy, WMM 2014: Cardiff, UK, June 17th to 19th, 2014
Cardiff: Spectrum Printing, 2014, S.434-441
- [L57]**
Roch, A.; Stepien, L.; Roch, T.; Dani, I.; Leyens, C.; Jost, O.; Leson, A.:
»Optical absorption spectroscopy and properties of single walled carbon nanotubes at high temperature.«
Synthetic metals 197 (2014), S.182_DS187
DOI: 10.1016/j.synthmet.2014.09.016
- [L58]**
Roch, A.; Roch, T.; Talens, E.; Kaiser, B.; Lasagni, A.F.; Beyer, E.; Jost, O.; Cuniberti, G.; Leson, A.:
»Selective laser treatment and laser patterning of metallic and semiconducting nanotubes in single walled carbon nanotube films.«
Diamond and Related Materials 45 (2014), S.70-75
DOI: 10.1016/j.diamond.2014.03.007
- [L59]**
Roch, A.; Roch Talens, E.; Lehmann, B.; Jost, O.; Leson, A.:
»Synthesis of carbon nanotubes and their relevant properties.«
Fecht, Hans-Jörg (Hrsg.); Brüche, Kai (Hrsg.); Gluche, Peter (Hrsg.): Carbon-based nanomaterials and hybrids: Synthesis, properties, and commercial applications
Hoboken: Pan Stanford Publishing, 2014, S.125-155
- [L60]**
Roch, T.; Klein, F.; Guenther, K.; Roch, A.; Mühl, T.; Lasagni, A.:
»Laser interference induced nanocrystallized surface swellings of amorphous carbon for advanced micro tribology.«
Materials Research Express 1 (2014), Nr.3, Art. 035042, 14 S.
DOI: 10.1088/2053-1591/1/3/035042
- [L61]**
Röling, S.; Braun, S.; Gawlitza, P.; Wöstmann, M.; Ziegler, E.; Zacharias, H.:
»Tunable two-color hard x-ray multilayer Bragg mirrors.«
Optics Letters 39 (2014), Nr.9, S.2782-2785
DOI: 10.1364/OL.39.002782
- [L62]**
Schaaf, P.; Kaspar, J.; Höche, D.:
»Laser gas-assisted nitriding of Ti alloys.«
Hashmi, S.: Comprehensive Materials Processing. Vol.9: Laser Machining and Surface Treatment
Amsterdam: Elsevier, 2014, S.261-278
DOI: 10.1016/B978-0-08-096532-1.00912-2
- [L63]**
Schiefer, T.; Frenzel, R.; Jansen, I.; Calvimontes, A.; Simon, F.:
»Polyelectrolyte adsorption adds to laser pre-treatment.«
Adhesion. Adhesives & sealants 11 (2014), Nr.1, S.38-43
DOI: 10.1365/s35784-014-0264-z
- [L64]**
Schilling, N.; Klotzbach, U.:
»Bearbeitung faserverstärkter Kunststoffe mittels Kurzpuls-Lasersystemen zum selektiven Freilegen von Verstärkungsfasern.«
Innovative Fertigung durch Lasersysteme neuester Generation: Vorträge und Posterbeiträge der 9. Jenaer Lasertagung am 20. und 21. November 2014
Düsseldorf: DVS-Verlag, 2014, S.178-184
(DVS-Berichte 307)
- [L65]**
Schmieder, S.; Sonntag, F.:
»SPR-basierter Mikro-RNA-Nachweis.«
Förster, Andreas: 5. Dresdner Medizintechnik Symposium 2014: Biomedizinische Technik_DS Von der Grundlagenforschung zum Transfer, 01.-03.12.2014, Dresden
Stuttgart: Steinbeis-Edition, 2014, S.89-91 (Reports on Biomedical Engineering 2)

[L66]

Schulze, S.; Göbel, G.; Richter-Trummer, V.; Füssel, U.; Beyer, E.:

»The influence of gaps and misalignment on friction stir welded butt joints of medium-sized parts.«

Mishra, B.; The Minerals, Metals and Materials Society -TMS-, Warrendale/Pa.: THERMEC 2013, 8th International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials. Proceedings: December 2 - 6, 2013, Las Vegas, USA Durnten-Zurich: Trans Tech, 2014, S.1788-1793 (Materials Science Forum 783-786)
DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.1788

[L67]

Schumm, B.; Kaskel, S.:

»Nanoimprint lithography for photovoltaic applications.«

Tiwari, A.: Solar cell nanotechnology Salem/Mass.: Scrivener Publishing, 2014, S.185-201
DOI: 10.1002/9781118845721.ch7

[L68]

Seifert, M.; Anhalt, K.; Baltruschat, C.; Lenhart-Rydzek, M.; Brenner, B.; Bonß, S.:

»Die Genauigkeit der berührungslosen Temperaturmessung bei der Randschicht-Wärmebehandlung.«

HTM - journal of heat treatment and materials 69 (2014), Nr.3, S.182-191

[L69]

Shilapuram, V.; Ozalp, N.; Oschatz, M.; Borchardt, L.; Kaskel, S.:

»Hydrogen production from catalytic decomposition of methane over ordered mesoporous carbons (CMK-3) and carbide-derived carbon (DUT-19).«

Carbon 67 (2014), S.377-389
DOI: 10.1016/j.carbon.2013.10.008

[L70]

Shilapuram, V.; Ozalp, N.; Oschatz, M.; Borchardt, L.; Kaskel, S.; Lachance, R.:

»Thermogravimetric analysis of activated carbons, ordered mesoporous carbide-derived carbons, and their deactivation kinetics of catalytic methane decomposition.«

Industrial and Engineering Chemistry Research 53 (2014), Nr.5, S.1741-1753
DOI: 10.1021/ie402195q

[L71]

Siebert, R.; Schneider, J.; Beyer, E.:

»Laser cutting and mechanical cutting of electrical steels and its effect on the magnetic properties.«

IEEE transactions on magnetics 50 (2014), Nr.4, Pt.1, Art. 2001904, 4 S.
DOI: 10.1109/TMAG.2013.2285256

[L72]

Siebert, R.; Schneider, J.; Beyer, E.:

»Manufacturing related effects on magnetic properties of electrical steels.«

Schneider, J.; TU Bergakademie Freiberg, Institut für Metallformung; Univ. Gent: 6th International Conference on Magnetism and Metallurgy, WMM 2014: Cardiff, UK, June 17th to 19th, 2014
Cardiff: Spectrum Printing, 2014, S.360-369

[L73]

Slawik, T.; Bergner, A.; Puschmann, R.; Franke, P.; Räthel, J.; Behnisch, T.; Scholl, R.; Berger, L.-M.; Moritz, T.; Zelm, R.; Gude, M.; Michaelis, A.; Beyer, E.; Leyens, C.; Großmann, H.; Kieback, B.:

»Metal_DS ceramic layered materials and composites manufactured using powder techniques.«

Advanced engineering materials 16 (2014), Nr.10, S.1293_DS1302
DOI: 10.1002/adem.201400221

[L74]

Sonntag, F.; Grünzner, S.; Busek, M.; Schmieder, F.; Klotzbach, U.; Franke, V.:

»Multilagenbasierte Lab-on-a-Chip-Systeme für perfundierte, zellbasierte Assays.«

Innovative Fertigung durch Lasersysteme neuester Generation: Vorträge und Posterbeiträge der 9. Jenaer Lasertagung am 20. und 21. November 2014
Düsseldorf: DVS-Verlag, 2014, S.170-177 (DVS-Berichte 307)

[L75]

Toma, F.-L.; Berger, L.-M.; Potthoff, A.; Langner, S.:

»Demands and economic aspects of thermal spraying with suspensions - an overview.«

Deutscher Verband für Schweißen und Verwandte Verfahren e. V. -DVS-; The Thermal Spray Society -TSS-; International Institute of Welding -IIW-: ITSC 2014, International Thermal Spray Conference & Exposition: Abstracts (including manuscripts on CD-ROM) of the conference in Barcelona, Spain, on May 21-23, 2014
Düsseldorf: DVS Media, 2014, S.368-372 (DVS-Berichte 302)

[L76]

Toma, F.-L.; Berger, L.-M.; Kuntze, T.; Scheitz, S.; Thiele, S.:

»Funktionalisierung von Keramikoberflächen durch thermisch gespritzte Schichten.«

Thermal spray bulletin 7 (2014), Nr.1, S.36-42

[L77]

Toma, F.-L.; Berger, L.-M.; Shakhverdova, I.; Leupolt, B.; Potthoff, A.; Oelschlägel, K.; Meißner, T.; Gomez, J.A.I.; Miguel, Y. de:

»Parameters influencing the photocatalytic activity of suspension-sprayed TiO₂ coatings.«

Journal of thermal spray technology 23 (2014), Nr.7, S.1037-1053
DOI: 10.1007/s11666-014-0090-5

[L78]

Trache, R.; Berger, L.-M.; Leyens, C.:

»Comparison of alumina-titania coatings deposited by plasma and HVOF spray techniques.«

Deutscher Verband für Schweißen und Verwandte Verfahren e. V. -DVS-; The Thermal Spray Society -TSS-; International Institute of Welding -IIW-: ITSC 2014, International Thermal Spray Conference & Exposition: Abstracts (including manuscripts on CD-ROM) of the conference in Barcelona, Spain, on May 21-23, 2014
Düsseldorf: DVS Media, 2014, S.824-829 (DVS-Berichte 302)

[L79]

Uhlmann, E.; Stawiszynski, B.; Leyens, C.; Heinze, S.:

»Steigerung der Leistungsfähigkeit von Hartmetallwerkzeugen in der Hartbearbeitung: Anwendung moderner HIPIMS-Schichten beim Hartdrehen.«

Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb: ZWF 109 (2014), Nr.4, S.236-241

[L80]

Wagner, K.; Friedrich, S.; Stang, C.; Bley, T.; Schilling, N.; Bieda, M.; Lagsagni, A.; Boschke, E.:

»Initial phases of microbial biofilm formation on opaque, innovative anti-adhesive surfaces using a modular microfluidic system.«

Engineering in life sciences 14 (2014), Nr.1, S.76-84
DOI: 10.1002/elsc.201200035

[L81]

Walter, J.; Hennings, C.; Hustedt, M.; Kaierle, S.; Borkmann, M.; Mahrle, A.:

»Effizienzsteigerung beim Remote-Laserschweißen durch optimierte Luftströmungsführung.«

Ruck, B. (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Laser-Anemometrie e. V. -GALA-: 22. Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungstechnik" 2014 : Karlsruhe, 9.-11.9.2014
Karlsruhe: GALA, 2014, S.49/1-49/8
URL: <http://www.galaev.org/images/Beitraege/Beitraege%202014/pdf/49.pdf>

[L82]

Wank, A.; Beck, F.; Schläfer, T.; Nowotny, S.; Brückner, F.; Hillig, H.; Pfennig, M.; Thieme, S.:

»Capability of combined thermal spray and laser coating centers to improve production efficiency.«

Welding and cutting 13 (2014), Nr.2, S.100-102

[L83]

Wehnert, F.; Langer, M.; Kaspar, J.; Jansen, I.:

»The contribution of nanoparticles towards multifunctionality within adhesives.«

10th European Adhesion Conference, EURADH 2014: Alicante/Spain (22.-25.4.2014)
Alicante: Sociedad de Adhésion, 2014, S.63-67

[L84]

Wisser, F.M.; Eckhardt, K.; Wisser, D.; Böhlmann, W.; Grothe, J.; Brunner, E.; Kaskel, S.:

»*Tailoring pore structure and properties of functionalized porous polymers by cyclotrimerization.*«

Macromolecules 47 (2014), Nr.13, S.4210-4216
DOI: 10.1021/ma500512j

[L85]

Wollmann, P.:

»*Spektroskopie in neuen Dimensionen: Hyperspectral Imaging in Labor und Prozessanwendungen.*«

Polytec Info. Informationszeitschrift aus dem Hause Polytec 76 (2014), S.20-22

[L86]

Ylivaara, O.M.E.; Liu, X.; Kilpi, L.; Lyytinen, J.; Schneider, D.; Laitinen, M.; Julin, J.; Ali, S.; Sintonen, S.; Berdova, M.; Haimi, E.; Sajavaara, T.; Ronkainen, H.; Lipsanen, H.; Koskinen, J.; Hannula, S.-P.; Puurunen, R.L.:

»*Aluminum oxide from trimethylaluminum and water by atomic layer deposition: The temperature dependence of residual stress, elastic modulus, hardness and adhesion.*«

Thin solid films 552 (2014), S.124-135
DOI: 10.1016/j.tsf.2013.11.112

[L87]

Zimmermann, M.; Kolyshkin, A.; Stöcker, C.; Jones, J.W.; Christ, H.-J.:

»*Damage evolution and crack growth in nickel-based alloys during ultrasonic fatigue.*«

Mishra, B.; The Minerals, Metals and Materials Society -TMS-, Warrendale/Pa.: THERMEC 2013, 8th International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials. Proceedings: December 2 - 6, 2013, Las Vegas, USA
Durnten-Zurich: Trans Tech, 2014, S.2410-2415 (Materials Science Forum 783-786)
DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.2410

[L88]

Zimmermann, M.; Bretschneider, J.; Kirchhoff, G.; Stamm, U.; Standfuss, J.; Brenner, B.:

»*Fatigue behaviour of laser beam welded circular weld seams under multi-axial loading.*«

Clark, G.: Fatigue 2014, 11th International Fatigue Congress. Pt.2: Selected, peer reviewed papers from the 11th International Fatigue Congress 2014, March 2-7, 2014, Melbourne, Australia
Durnten-Zurich: TTP, 2014, S.1397-1402
(Advanced materials research 891-892)
DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.891-892.1397

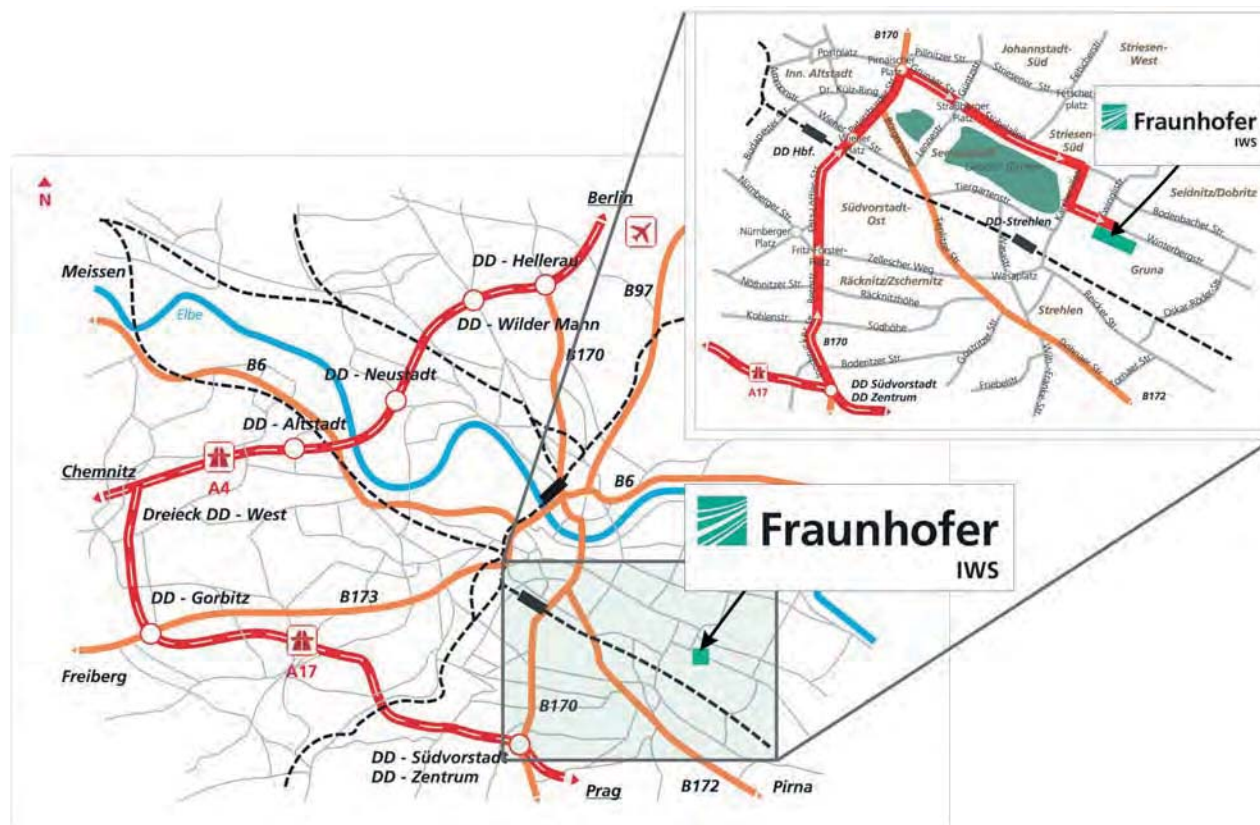
[L89]

Ziolkowski, G.; Chlebus, E.; Szymczyk, P.; Kurzac, J.:

»*Application of X-ray CT method for discontinuity and porosity detection in 316L stainless steel parts produced with SLM technology.*«

Archives of civil and mechanical engineering 14 (2014), Nr.4, S.608-614
DOI: 10.1016/j.acme.2014.02.003

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.

Post-Adresse:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff-
und Strahltechnik IWS Dresden
Winterbergstraße 28
01277 Dresden

Mit der Straßenbahn (ab Dresden-Hauptbahnhof):

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

Internet-Adresse:

www.iws.fraunhofer.de

Mit dem Flugzeug:

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

Telefon +49 351 83391-0

Fax +49 351 83391-3300

E-Mail info@iws.fraunhofer.de

IMPRESSUM

Redaktion:	Dr. Anja Techel	
Koordination:	Dipl.-Kffr. Anne Kutzleb Dr. Ralf Jäckel	
Gestaltung:	B. Sc. Matti Hilbert René Zenner	
Bildnachweis:	S. 2 S. 5, 10, 13, 48, 90 S. 8 (Abb. 1 links, mitte) S. 8 (Abb. 1 rechts) S. 6 S. 9 (oben) S. 9 (unten) S. 11 S. 14, 20, 22, 42, 44, 49, 56, 58, 68, 70, 73, 77, 88, 97, 106, 108, 139 S. 18, 54 S. 30 S. 33, 146 S. 51 S. 55 (Abb. 3) S. 55 (Abb. 4) S. 75 S. 83 S. 86, 87 S. 87 S. 96, 97 S. 122 S. 142 S. 151 alle anderen Abbildungen	Prof. Beyer (privat) / Jürgen Jeibmann Frank Höhler DMG Mori Seiki AG Alpha Laser GmbH Joachim Blobel Held Systems GmbH GTV Verschleißschutz GmbH Dr. Junker (privat) Jürgen Jeibmann Fraunhofer IWS / Jürgen Jeibmann MEV Verlag GmbH / Fraunhofer IWS Dresden TU Dresden Firma DOT Rostock TU Wrocław Siemens AG Keyence Corporation TU Dresden / Fraunhofer IWS Fraunhofer USA Trumpf Mackinac Technology Company James Thew, Fotolia.com adimas, Fotolia.com DDpix.de, Marcel Quietzsch Fraunhofer IWS

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2015

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.