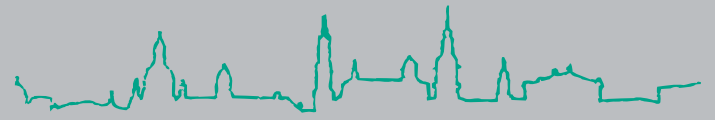




Fraunhofer

IWS

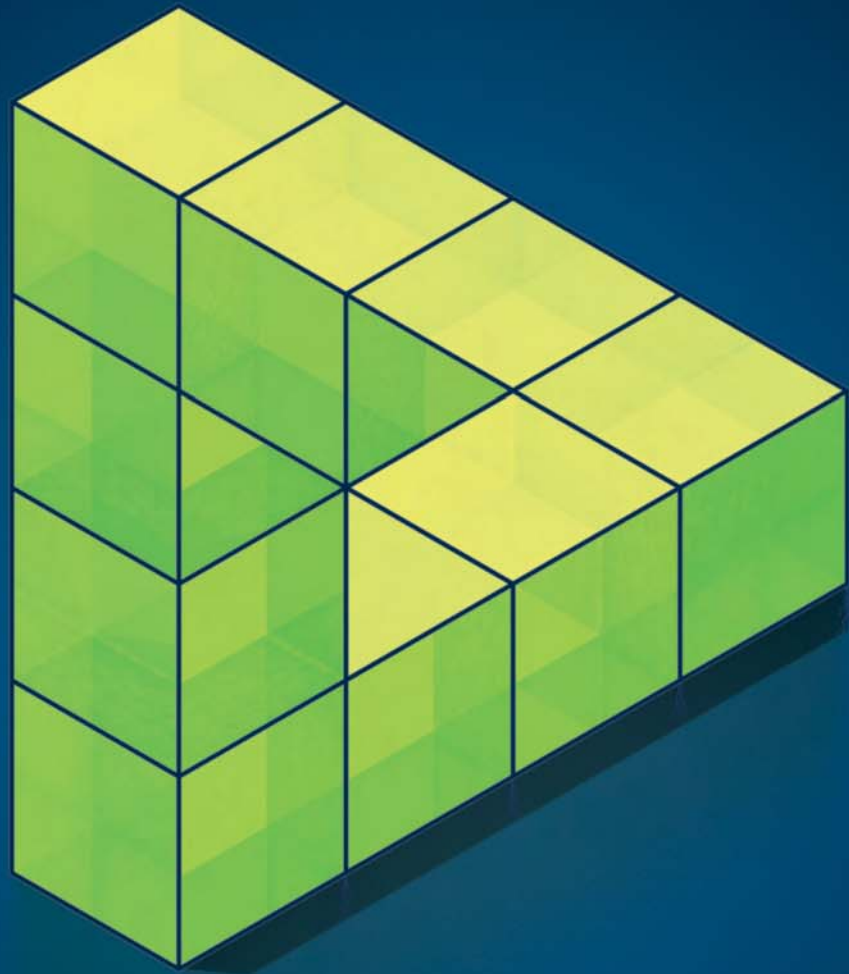


Dresden

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS

JAHRESBERICHT

2017



DAS FRAUNHOFER IWS

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden steht für Innovationen in der Laser- und Oberflächentechnik. Als Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. bietet das Institut Lösungen aus einer Hand – von der Entwicklung neuer Verfahren über die Integration in die Fertigung bis hin zur anwendungsorientierten Unterstützung. Die Felder Systemtechnik und Prozesssimulation ergänzen die Kernkompetenzen. Zu den Geschäftsfeldern des Fraunhofer IWS gehören PVD- und Nanotechnik, Chemische Oberflächen- und Reaktionstechnik, Thermische Oberflächentechnik, Generieren und Drucken,

Fügen, Laserabtragen und -trennen sowie Mikrotechnik. Das Kompetenzfeld Werkstoffcharakterisierung und -prüfung unterstützt die Forschungsaktivitäten.

An der Westsächsischen Hochschule Zwickau betreibt das Dresdner Institut das Fraunhofer-Anwendungszentrum für »Optische Messtechnik und Oberflächentechnologien« (AZOM). Die Fraunhofer-Projektgruppe am »Dortmunder Oberflächen-Centrum« (DOC) ist ebenfalls Teil des Dresdner Instituts. Die Hauptkooperationspartner in den USA sind das »Center for Coatings and Diamond Technologies« (CCD) an der Michigan State University in East Lansing und das »Center for Laser Applications« (CLA) in Plymouth, Michigan.



Zertifiziert nach ISO 9001:2015

Qualität ist das Fundament für unseren Erfolg. Wir haben es uns zur Aufgabe gemacht, die eigenen Potenziale weiterzuentwickeln sowie die Zufriedenheit unserer Partner und Kunden auf höchstem Niveau zu etablieren. Deshalb hat das Fraunhofer IWS Dresden bereits 1997 ein Qualitätsmanagementsystem eingeführt, das seither kontinuierlich weiterentwickelt und regelmäßig nach dem ISO-Standard 9001 extern zertifiziert wird. Dieses dient als Basis dafür, um anhand dokumentierter Verfahren zukunftssicher im nationalen und internationalen Markt agieren zu können. So schaffen wir die Voraussetzung dafür, unsere Unternehmensziele effizient und effektiv zu erreichen – und stets ein verlässlicher Partner zu sein.



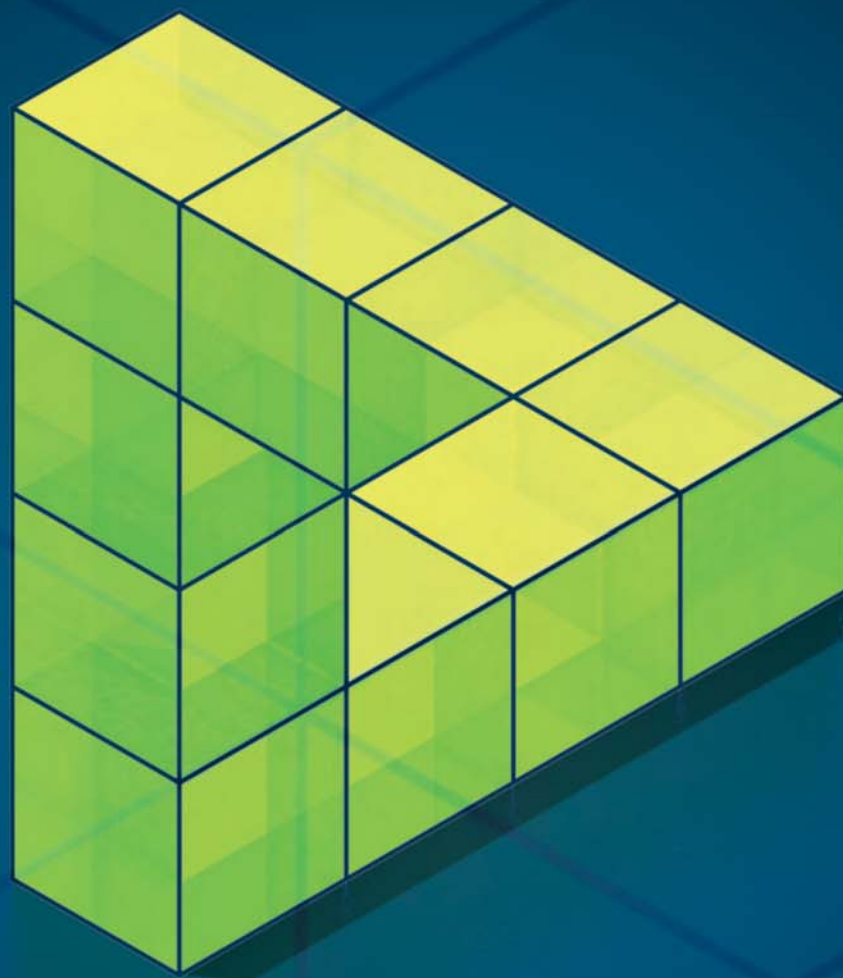
DRESDEN-concept: Exzellenz aus Wissenschaft und Kultur

Das Fraunhofer IWS Dresden bringt sich als Mitglied stark in den Verbund DRESDEN-concept ein. Die Zusammenarbeit der 26 Partner aus Wissenschaft und Kultur zielt darauf ab, Synergien in Forschung, Ausbildung, Infrastruktur, Verwaltung sowie Transfer zu erschließen und nutzen. Dazu koordinieren sie ihre Wissenschaftsstrategie und identifizieren diejenigen Gebiete, in denen Dresden international führend ist. Die Partner arbeiten zusammen, um weltweit führende Wissenschaftler für Dresden zu gewinnen und diese an den hiesigen Wissenschaftsstandort zu binden.

JAHRESBERICHT 2017

**FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND
STRAHLTECHNIK IWS DRESDEN**

INHALT



DAS FRAUNHOFER IWS

- 8 Kernkompetenzen
- 10 IWS im Überblick
- 16 Highlights
- 20 Aus dem Kuratorium
- 22 Organisation und Ansprechpartner

AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN

- 26 PVD- und Nanotechnik
- 34 Chemische Oberflächen- und Reaktionstechnik
- 42 Thermische Oberflächentechnik
- 48 Generieren und Drucken
- 56 Fügen
- 64 Laserabtragen und -trennen
- 72 Mikrotechnik
- 78 Werkstoffcharakterisierung und -prüfung

ZENTREN UND NETZWERKE

- 86 Kooperationspartner
- 88 Zentren
- 91 Außenstellen
- 92 Netzwerke
- 94 Fraunhofer-Verbund Light & Surfaces
- 96 Kontaktadressen und Anfahrt
- 97 Impressum

VORWORT



Institutsleiter **Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Ralf-Eckhard Beyer**

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die Zukunft ist jetzt. Schlagworte wie »Digitalisierung«, »Internet of Things« (IoT) und »Industrie 4.0« sind in aller Munde. Alle damit zusammenhängenden Entwicklungen dringen in jeden Lebensbereich vor. Gefragt sind technische Lösungen, um die Beantwortung mehrdimensionaler Fragestellungen zu fördern. Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden versteht sich vor diesem Hintergrund als Motor der Entwicklung in der Lasermaterialbearbeitung und Oberflächentechnik. Dort bringen wir unsere Erfahrungen ein und wollen nicht stehen bleiben, um unsere Partner und Auftraggeber auch weiterhin mit zündenden Ideen bis zur erfolgreichen Serieneinführung zu begleiten. Genau wie sie profitieren wir von einer stabilen Gesamtsituation. Denn wie das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mitteilt, befindet sich Deutschland in einem kräftigen Aufschwung. Auch die Auftragseingänge und Stimmungsindikatoren senden demzufolge positive Signale in die Industrie. Das Fraunhofer IWS bestätigte diesen Trend. Wir befinden uns nach wie vor auf einem stabilen Wachstumskurs

und haben unseren Partner- und Auftraggeberstamm erweitert. Diesen zu halten erfordert alle Kraft und Weitsicht.

Dennoch schafft es das Fraunhofer IWS seit mehr als 25 Jahren, sich in einem hochdynamischen und von starkem Wettbewerb gekennzeichneten Umfeld erfolgreich zu behaupten. Es ist unsere Überzeugung, dass strukturbildende Maßnahmen notwendig sind, um diese positive Entwicklung weiter auszubauen. So haben wir im Februar 2017 gemeinsam mit unserem Partner TU Dresden das »Zentrum für Additive Fertigung Dresden« (AMCD) eingeweiht, um industrietaugliche Lösungen zu entwickeln und die Innovationskraft unserer Partner in der Wirtschaft zu stärken. Bereits Ende 2016 haben wir mit der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) ganz gezielt ins Anwendungszentrum für Optische Messtechnik und Oberflächentechnologien (AZOM) Zwickau investiert. Denn das Thema Messtechnik erhält auch im Zusammenhang mit der Digitalisierung eine immer größere Bedeutung.



Institutsleiter **Prof. Dr.-Ing. Christoph Leyens**

Apropos optische Messtechnik: Auch das Thema »Hyperspectral imaging« verheißt spannende Anwendungsfelder. Denn anhand der Oberfläche lässt sich in hoher optischer Auflösung eine erstaunliche Informationsvielfalt erzielen. So können zum Beispiel in technischen Prozessen Verunreinigungen oder auf Lebensmitteln Pestizidrückstände detektiert werden. Ebenso erfreulich entwickelt sich das Thema Batterien am Fraunhofer IWS. Es besteht ein riesiger Bedarf, den wir mit unseren Forschungsleistungen bedienen. In eine ähnliche Richtung gehen unsere geschäftsfeldübergreifenden Anstrengungen hinsichtlich des EU-geförderten Projekts »ALABO«: Wir forschen an flexiblen und organischen Solarzellen von Morgen, die sich günstig im Rolle-zu-Rolle-Verfahren herstellen lassen sollen. Über weitere spannende Technologien berichten wir in der Rubrik »Aus unseren Geschäftsfeldern«.

Das scheinbar Unmögliche möglich zu machen – dieses Motiv prägte die Werke des niederländischen Künstlers und Grafikers

M. C. Escher. Auch wir haben uns von diesem Gedanken anstecken lassen, wie das Cover des vorliegenden Jahresberichts zeigt. Der abgebildete »Play-Button« manifestiert sich aus einer scheinbar unmöglichen Geometrie. Damit schlagen wir nicht nur den Bogen zum Generieren und Drucken, das Formen Lage für Lage aufträgt, die mit herkömmlichen Methoden bislang unmöglich herzustellen waren. Auch für unsere weiteren Geschäftsfelder bildet er einen roten Faden. Tragen sie doch konstant dazu bei, Lösungen für komplexe Herausforderungen zu entwickeln. In diesem Sinne: »Press play!«

Viel Vergnügen bei der Lektüre!

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. R.-E. Beyer Prof. Dr.-Ing. C. Leyens



DAS FRAUNHOFER IWS

KERNKOMPETENZEN

IWS IM ÜBERBLICK

HIGHLIGHTS

AUS DEM KURATORIUM

**ORGANISATION
UND ANSPRECHPARTNER**

KERNKOMPETENZEN



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

LASERMATERIALBEARBEITUNG

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

OBERFLÄCHENTECHNIK

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

WERKSTOFFTECHNIK

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

SYSTEMTECHNIK

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

SYSTEM- UND PROZESSSIMULATION

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

BIG DATA

Big Data bezeichnet große, komplexe oder sich schnell ändernde Datenmengen. Klassische visuelle Bildbearbeitung, relationale Datenbanksysteme sowie Statistik- und Visualisierungsprogramme sind oft nicht in der Lage, diese zu verarbeiten. Für Big Data kommen daher neue Arten von Plattformen, Datenspeicher- und Machine-learning-Methoden zum Einsatz, die parallel auf bis zu Hunderten oder Tausenden von Prozessoren arbeiten. Das Fraunhofer IWS sieht in dem Themenfeld enormes Forschungs- und Entwicklungspotenzial.

IWS IM ÜBERBLICK



Mitarbeiter am IWS

IWS

	Anzahl
Wissenschaftler/Ingenieure (TU, FH)	163
Facharbeiter mit techn. oder kaufmänn. Ausbildung	66
Auszubildende	13
Wissenschaftliche Hilfskräfte	157
Gesamt	399

Externe Mitarbeiter

	Anzahl
Mitarbeiter TU Dresden (Arbeitsort Fraunhofer IWS)	43
Stipendiaten + sonstige externe Mitarbeiter	7
Gesamt	50

Gesamt

449

Publikationen am IWS

Art der Publikation

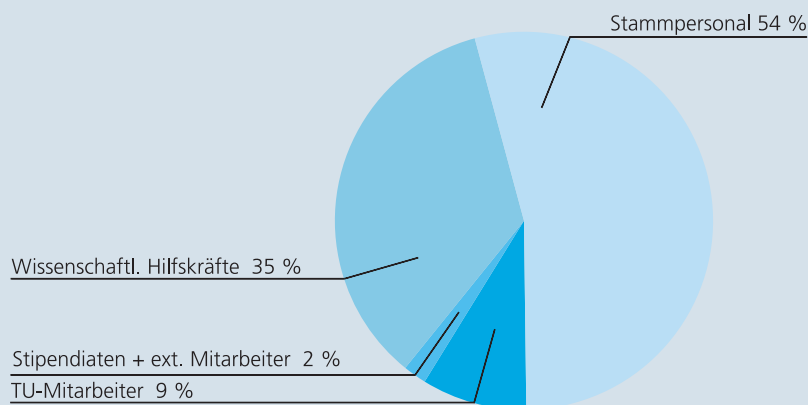
	Anzahl
Dissertationen	10
Diplomarbeiten	68
Masterarbeiten	12
Veröffentlichungen	134
Gesamt	224

Patente (Erstanmeldung)

28

Eine Liste aller wissenschaftlichen Fraunhofer-IWS-Publikationen aus dem Jahr 2017 stellen wir über die bibliographische Datenbank »Fraunhofer-Publica« unter dem folgenden Link zur Verfügung:

<http://publica.fraunhofer.de/institute/iws/2017>



Stand: Januar 2018

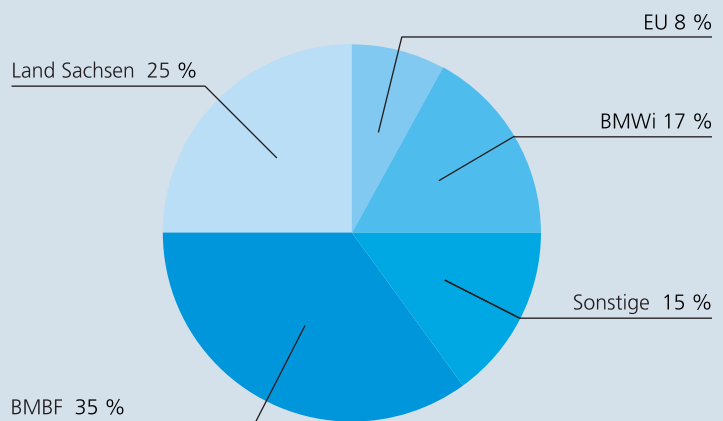
Erträge

Fraunhofer IWS und deutsche Außenstellen 2017 in Mio. €

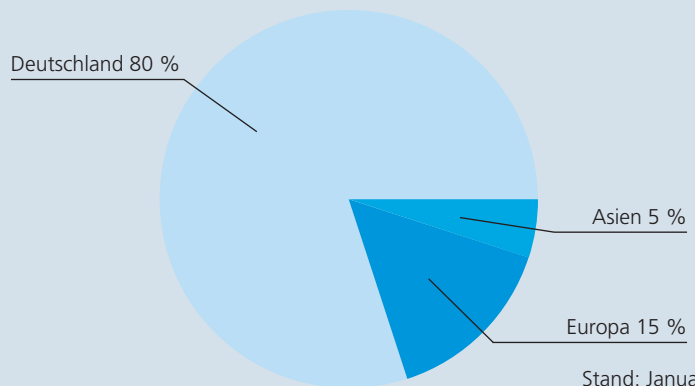
	Betrieb	Investitionen	Gesamt
Projekterträge aus der Industrie	13,2	0,2	13,4
Projekterträge durch Bund, Land und EU	9,4	0,2	9,6
Grundfinanzierung und interne Programme	6,3	1,5	7,8
Sonderfinanzierung durch Bund, Land und EU	0,2	0,5	0,7
	29,1	2,4	31,5

Fraunhofer Industrie $\rho_{Ind} = 45,5\%$

Herkunft der öffentlichen Erträge



Herkunft der Industrieerträge



Stand: Januar 2018

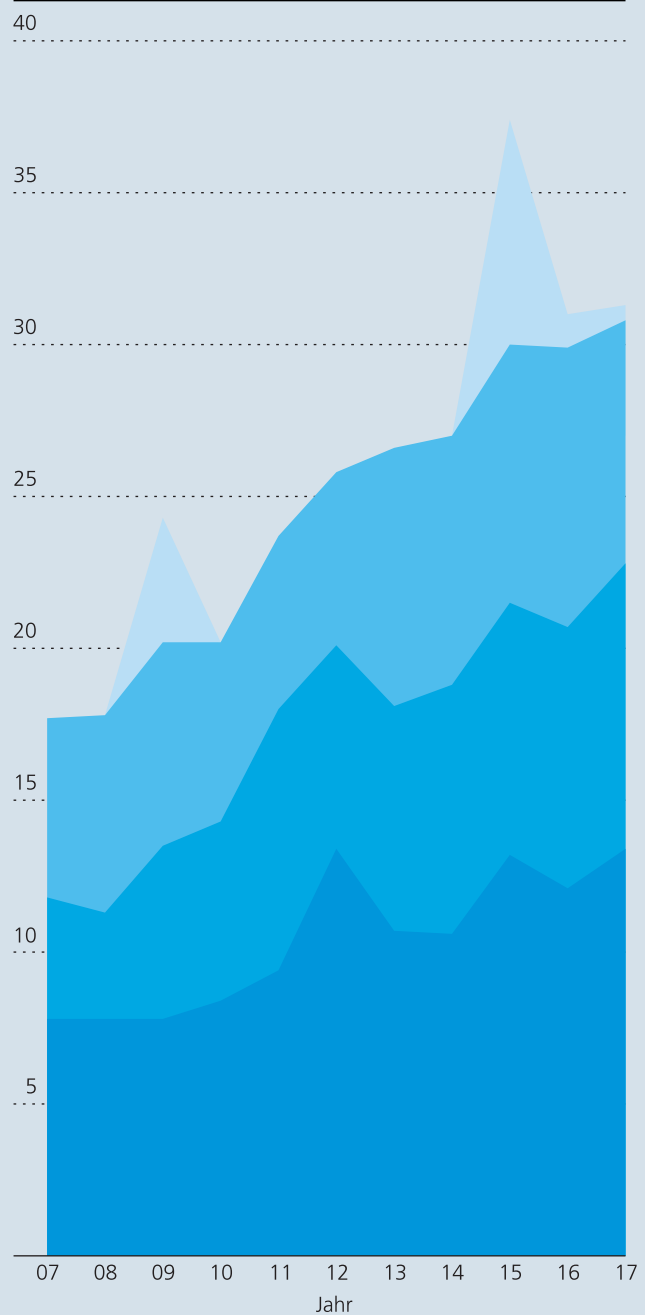
Aufwand

Deutschland 2017 in Mio. €

Personalaufwand	15,7
Sachaufwendungen	13,4
Investitionen	1,9
Sonderinvestitionen durch Bund, Land und EU	0,5
Gesamt	31,5

- Sonderinvestitionen
- Grundfinanzierung und interne Programme
- Projekterträge durch Bund, Land und EU
- Projekterträge aus der Industrie

Ertrag / Mio. €



Stand: Januar 2018

HIGHLIGHTS

Als Institut der Fraunhofer-Gesellschaft stehen wir für angewandte Forschung. Unser Ansporn ist es, die Zukunft auf den Gebieten der Lasermaterialbearbeitung sowie der Oberflächen- und Schichttechnik zu gestalten. Im Mittelpunkt steht die Aufgabe, Fragen aus der Praxis mit innovativen Entwicklungen zu beantworten. Unter »Highlights« verstehen wir demnach Projekte, die wir im vergangenen Jahr erfolgreich in den industriellen Prozess übertragen haben. Eine Auswahl dieser Innovationen stellen wir Ihnen auf den folgenden Seiten vor.







Hochleistungslaseranlage für supereffiziente Beschichtung von Hydraulikkolben

In enger Zusammenarbeit mit Bosch Rexroth entwickelte das Fraunhofer IWS Dresden einen Prozess für effizientes Hochleistungs-Laser-Pulver-Auftragschweißen. Im niederländischen Boxtel rüstete ein Wissenschaftlerteam eine Anlage für das Beschichten großer Hydraulik-Kolbenstangen bis zu 19 Metern Länge und 600 Millimetern Durchmesser um. Das neue Verfahren steigert die Produktivität der Anlage um ein Vielfaches, indem es Auftragsraten von bis zu 15 Kilogramm pro Stunde ermöglicht. Die Systemtechnik der Anlage optimierten die Forscher für Laserleistungen von bis zu 20 Kilowatt und bereiteten sie außerdem für Anwendungen im Themengebiet »Industrie 4.0« vor.

Im Vergleich zur früheren Konfiguration lassen sich mit dem neuen Verfahren zur Beschichtung von Hydraulik-Kolbenstangen um ein Vielfaches größere Pulvermengen in deutlich kürzerer

Zeit verarbeiten. Ziel der Entwicklung war es, Schweißgut so aufzuschmelzen, dass eine Beschichtung entsteht, die Verschleiß verringert und Korrosion verhindert. Während sich bei dem alternativen Verfahren des thermischen Spritzens lediglich eine metallische Verklammerung zwischen dem aufgetragenen Pulver und dem zu beschichtenden Grundwerkstoff ergibt, entsteht bei der neu eingeführten Lösung eine metallurgische Schweißverbindung auf der Oberfläche der Kolbenstange – bei gleichzeitig geringer Eisenaufmischung von niedriglegiertem Grundwerkstoff in die Deckschicht. Im Unterschied zum Plasma-Pulver-Auftragschweißen lassen sich beim Laser-Pulver-Auftragschweißen Aufmischungsgrade von unter drei Prozent bereits bei einlagiger Beschichtung erzielen. Für die Bearbeitung werden die zu beschichtenden Hydraulikstangen in der Anlage eingespannt und gedreht, während ein Laser mit gleichmäßigem Vorschub entlang der zu bearbeitenden Stange geführt wird. Auf diese Weise entsteht eine spiralförmige Beschichtungsraupe mit gleichmäßiger Schichthöhe. Der Einsatz des Lasers beschleunigt das Auftragschweißverfahren nicht nur erheblich, sondern

bringt gleichzeitig weniger Wärme ins Basisbauteil ein. So bleibt das Basismaterial hinsichtlich Struktur und Form intakt. Je nach Einsatzzweck und -bedingungen der Hydraulikstange lassen sich verschiedene Arten von Pulverwerkstoffen mit speziell angepassten Eigenschaften wie Verschleißbeständigkeit, Härte, Korrosionsbeständigkeit oder spezifischen Reibeigenschaften auftragen.

Zusätzlich rüstete das Fraunhofer IWS die Bosch-Rexroth-Anlage mit einem speziell entwickelten, induktiven Erwärmungsprozess aus. Dieser ermöglicht eine gezielte Prozesswärmeführung, wodurch auch risskritische und schwer schweißbare Beschichtungen fehlerfrei aufgeschweißt werden können. Somit gelang es Bosch Rexroth, die Beschichtungspalette um spezifisch angepasste Lösungen (»Enduroq«-Familie) zu erweitern. Diese schützen wirksam gegen Korrosion und stellen preiswerte sowie umweltfreundliche Alternativen zu den konventionellen Nickel-Chrom-Beschichtungen dar.

Gehärtete Nockenstücke sparen Benzin

Für ein neues Motorenkonzept eines deutschen Automobilherstellers entwickelte das Fraunhofer IWS Dresden den Prozess für das Laserstrahlhärten von Nockenstücken. Bei Bedarf ermöglicht es das neue Konzept, unter Teillast zwei von vier Zylindern abzuschalten. Dadurch lassen sich erhebliche Kraftstoff- und CO₂-Einsparungen erreichen. Die Entwicklungen des Fraunhofer IWS zielten darauf ab, das Nockenstück an stark beanspruchten Stellen zu härten. Dadurch erhöhen sich die Verschleißbeständigkeit und die Lebensdauer.

Eine besondere Herausforderung stellten die komplexen Konturen der zu härtenden Bauteile dar. Das Fraunhofer IWS setzte dafür Hochleistungsdiodenlaser ein, die sich generell für das Laserhärten hinsichtlich des Preis-Leistungs-Verhältnisses, der Strahlqualität und der Vielfalt der verfügbaren Optiken als effiziente Werkzeuge erwiesen. Der entscheidende Vorteil des

Lasers besteht darin, dass sich das Bauteil weniger verzieht, wodurch sich der Nachbearbeitungsaufwand wesentlich verringert. Um die Nockenkonturen den Ansprüchen entsprechend zu härten, verwenden die Wissenschaftler das am Fraunhofer IWS entwickelte dynamische Strahlformungssystem Lassy. Dieses stellt die Intensitätsverteilung prozessgerecht ein und realisiert sehr kurze Taktzeiten. Da das Härten eine präzise Temperaturführung erfordert, kombinierten die Wissenschaftler eine »E-MAQ5«-Wärmebildkamera mit einem »LompocPro«-System für die Temperaturregelung. Letzteres sorgt gleichzeitig dafür, die im System generierten Prozessdaten und die Qualität der Bauteile zu überwachen. Fehlerhafte Bauteile werden somit automatisch aus der Anlage geschleust. Im Gegensatz zu konventionellen Batchprozessen werden die Nockenstücke nun in Linie gefertigt. Auf diese Weise wird weniger Energie in das Bauteil eingeführt als bei konventionellen Härteverfahren.

Das Aufgabenspektrum des Fraunhofer IWS umfasste sowohl die Prozess- als auch die Technologieentwicklung, um darauf aufbauend die Serienfertigungsanlage zu konzipieren. Außerdem übernahmen die Wissenschaftler die Entwicklung der Systemtechnik sowie die Fertigung der Baustufen. Anschließend nahmen sie die Prozesse in Betrieb, fuhren diese an und begleiteten sie in die Serie. Die Komponenten wurden mit der Anlagensteuerung verbunden, die entsprechenden Schnittstellen bereitgestellt und die logischen Abläufe zusammen mit dem Anlagenlieferanten entwickelt sowie installiert. Dabei passten die Forscher alle Prozessparameter wie Temperatur, Vorschubgeschwindigkeiten und Laserpositionen an der Serienanlage an. Während der Entwicklung war das Forscherteam auch an der Materialauswahl beteiligt und unterstützte den Automobilhersteller bei der Konstruktion, um die Bauteile sowie die Fertigungsfolgen optimal für das Laserstrahlhärten anzupassen.

- 1 *Die neue Hochleistungsanlage für Bosch Rexroth beschichtet Hydraulik-Kolbenstangen von bis zu 19 Metern Länge und 600 Millimetern Durchmesser. Sie ermöglicht Auftragsraten von bis zu 15 Kilogramm pro Stunde.*

»contiLAS« schneidet Airbags weltweit

Vier »contiLAS«-Fertigungsanlagen zum Laserschneiden von Airbags überführte das Fraunhofer IWS Dresden gemeinsam mit Held Systems im vergangenen Jahr an international führende Hersteller von Sicherheitslösungen für Automobilanwendungen. Dazu passten die Forscher den Prozess sowie die Software den Anforderungen der Endanwender an und entwickelten sie für den weltweiten Einsatz weiter. Die Anlagen sollen unter anderem sogenannte One-piece-woven-Airbags (OPW) zuverlässig schneiden. Die Besonderheit von OPW besteht darin, dass sie – in einem Stück gewebt – einerseits über Flachmaterial und andererseits über eingelassene Hohlräume verfügen. In Verbindung mit der passenden Beschichtung sorgt das Verfahren dafür, dass die Airbags Luft besser einschließen. Das Schneiden mithilfe der Lasertechnik bietet den Vorteil, dass die entstehenden Kanten direkt verschmelzen und gleichzeitig dem sogenannten Aufdrieseln vorgebeugt wird.

Die Herausforderung bestand darin zu erkennen, an welcher Stelle die Anlage Schnitte setzen muss. Als Ansatz wählten die Partner das Remoteschneiden. Dafür entwickelte das Fraunhofer IWS das Konzept und die Software für die Ansteuerung. Die Anlagen enthalten ein mehr als drei Meter breites Förderband, auf dem das Material geschnitten sowie aus der Bearbeitungszone heraustransportiert wird. Das Prinzip dahinter: Zwei Scanner verfahren quer zum Vorschub, um den Arbeitsbereich der Laserstrahlen zu erweitern. Die Aufteilung der Schnittkonturen erfolgt mit einer am Fraunhofer IWS entwickelten CAM-Software. Diese erlaubt die Konturaufteilung und optimiert deren Schneidreihenfolge, um die Ausbringung zu maximieren. Bei der Remote-Bearbeitung wird der Laserstrahl mit bewegten Spiegelementen abgelenkt und mit höchster Dynamik über das zu bearbeitende Bauteil geführt. Dadurch reduzieren sich die Positionierzeiten zwischen einzelnen Bearbeitungsschritten auf ein Minimum und die Prozessgeschwindigkeit bleibt auch bei komplexen Geometrien hoch. Die



Geschwindigkeit des Laserspots kann dabei einige Meter pro Sekunde erreichen, sodass der Materialbearbeitungsprozess, zum Beispiel das Schneiden komplexer Airbagteile, in wenigen Sekunden abgeschlossen ist.

Für den industriellen Einsatz der Remote-Technologie zum Schweißen, Schneiden, Reinigen und Gravieren entwickelte das Fraunhofer IWS Dresden – angepasst an die individuellen Anforderungen – Bearbeitungsoptiken und Softwarelösungen für die Prozesssteuerung und Fertigungsvorbereitung. In Kombination der Remote-Technik der schnellen Strahlbewegung mit einem kontinuierlichen Vorschub des Materials, zum Beispiel einer mehrere Meter breiten Gewebbahn, entstehen kompakte, leistungsfähige systemtechnische Lösungen.

Erste LMDR-Überführung in Europa

Im Jahr 2017 gelang es einem Industriekonsortium und dem Fraunhofer IWS erstmals in Europa eine Laser-Magnetic-Domain-Refinement-Anlage (LMDR) in den industriellen Prozess zu

überführen. Diese kommt in Tschechien beim weltgrößten Stahlproduzenten zum Einsatz. Gleichzeitig handelt es sich um den ersten Anwender des Systems außerhalb Asiens. Die am Fraunhofer IWS entwickelte Technologie erzeugt eine Veredelung auf kornorientiertem Elektroblech, das in Transformatoren zum Einsatz kommt. Die Wissenschaftler steuerten die am Institut entwickelte Software und Steuerungskomponenten auf Basis des ESL2-100-Moduls bei.



Während etwa in Motoren Bleche mit nichtkornorientierter magnetischer Struktur verarbeitet werden, um den Anforderungen ständig drehender Bauteile und somit wechselnder Magnetfelder gerecht zu werden, erfordern Transformatoren eine Kornorientierung. Bleche mit einer klaren Ausrichtung in nicht beweglichen Feldern minimieren Wirbelstromverluste. Die LMDR-Anlage erzeugt eine lokale linienförmige Wärmebehandlung im Durchlauf eines Blechbands, bevor dieses konfektioniert und in die richtige Länge geschnitten wird. Die so präparierten Bleche werden weltweit in Transformatoren eingebaut. Die Lösung des Fraunhofer IWS bietet größtmögliche Flexibilität. Unter wechselnden Bedingungen wie etwa der Bandgeschwindigkeit bleiben die Bearbeitungsparameter konstant.

- 1 *»contiLAS«-Fertigungsanlagen können künftig weltweit OPW-Airbags schneiden. Die Besonderheit besteht darin, dass das zu verarbeitende Material sowohl über Flachmaterial als auch über eingelassene Hohlräume verfügt. Die Anlage erkennt exakt, an welchen Stellen Schnitte gesetzt werden müssen.*
- 2 *Auf dem LMDR-Testsystem des Fraunhofer IWS wurde im Vorfeld das Potenzial der Laserbehandlung am Material des tschechischen Endkunden nachgewiesen. Dies bildete die Grundlage für die Entscheidung zur Überführung der Technologie in den industriellen Prozess.*

AUS DEM KURATORIUM

Das Kuratorium berät und unterstützt die Institutsleitung sowie die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 27. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 24. März 2017 im Fraunhofer IWS Dresden statt. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

REINHOLD ACHATZ, DR.

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

JOACHIM FETZER, DR.

Mitglied des Bereichsvorstands Gasoline Systems,
Robert Bosch GmbH, Stuttgart

RALF-MICHAEL FRANKE

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

THORSTEN FRAUENPREIß

Geschäftsführer ROFIN-SINAR Laser GmbH,
Hamburg

ANDREAS HANDSCHUH, DR.

Kanzler der Technischen Universität Dresden

JÜRGEN HOHNHAUS, DR.

CTO Development,
Bystronic Laser AG, Niederörsz/Schweiz

UWE KRAUSE, DR.

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

PETER G. NOTHNAGEL

Geschäftsführer Wirtschaftsförderung Sachsen GmbH,
Dresden

HERMANN RIEHL, MINR

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

CHRISTOPH ULLMANN, DR.

Geschäftsführer Laserline GmbH,
Mülheim-Kärlich

INGA STOLL, DR.

Leiterin Herstellbedingte Werkstoffeigenschaften
MTU Aero Engines AG, München

RENÉ UMLAUFT, DR.

Geschäftsführer Römheld & Moelle Eisengießerei GmbH,
Mainz

FRANZ-JOSEF WETZEL, DR.

BMW Motorrad, UX-EV, München

REINHARD ZIMMERMANN, MINR DR.

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



Die digitale Transformation verändert unsere Welt grundlegend! Diese Veränderung findet in unserem persönlichen Verhalten genauso statt wie in Unternehmen, Universitäten und Forschungsinstituten. Sie hat viele Gesichter. Die umfassende Nutzung von Daten im Internet ist nur ein Aspekt. Ein anderer Aspekt der digitalen Transformation ist »Industrie 4.0«. Auch die Produktion und Logistik verändern sich dramatisch.

Ist unsere heutige Produktion noch sehr stark von subtraktiver Fertigung geprägt, werden wir in Zukunft immer stärker die Möglichkeiten der additiven Fertigung nutzen. Komplexität der Werkstücke ist hier ohne hohe Kosten zu haben. Es steht uns eine praktisch unbegrenzte, nur durch die physikalischen Grenzen definierte Designfreiheit zur Verfügung. Aufwändige Spezialwerkzeuge und Formen werden nicht mehr benötigt. Das Werkstück wird direkt aus den digitalen Beschreibungen »gedruckt«. Die Differenzierung der Anwendungen wird künftig weit mehr in der Kreativität des Designs als im Fertigungsverfahren liegen. Auch die Logistik wird einfacher werden, weil anstatt des Werkstücks nur die digitale Beschreibung um die Welt geschickt wird. Produziert wird dann nahe am Ort des Bedarfs.

Doch bis dies in allen Produktionszweigen Alltag ist, ist noch viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten! Die Fertigungsverfahren sind heute noch sehr zeitaufwändig, sodass hohe Stückzahlen nur mit großen Maschinenparks erzeugt werden können. Schnell und gleichzeitig präzise zu »drucken« ist die Herausforderung! Hier wird die Expertise des Fraunhofer-Institutes für Werkstoff- und Strahltechnik IWS benötigt, um die heute noch vorhandenen Grenzen zu verschieben.

Die Energiewende nahm im Jahr 2016 immer konkretere Formen an. Energie aus erneuerbaren Quellen, wie Sonne und Wind, nimmt einen immer breiteren Raum in der Energieerzeugung ein. Da sich aber diese Formen der Energieerzeugung leider nicht einfach steuern lassen, steigt der Bedarf an Energiespeicherung.

Dies gilt in ähnlichem Maße auch für die Mobilität. Die Politik treibt den Wandel vom Verbrennungs- zum Elektromotor immer stärker voran. Die Energiespeicherung in mobilen Systemen erhält damit in der Forschung und Entwicklung eine höhere Priorität. Denn die hohen Energiedichten von Diesel und Benzin sind bei Batterien noch lange nicht erreicht. Damit ist Reichweite immer noch das größte Hindernis für die Einführung der Elektromobilität. Auch der hohe Preis der Batterien verlangsamt den Trend zum elektrischen Fahren.

Batterieforschung, wie sie vom Fraunhofer IWS betrieben wird, gewinnt weiter an Bedeutung. Nachdem die meisten Zellen für Batterien heute in Asien gefertigt werden, besteht hier eine für die deutsche Wirtschaft gefährliche Abhängigkeit. Zu einer Initiative zur Zellfertigung in Deutschland kann das Know-how der Dresdner Fraunhofer-Institute einen wichtigen Beitrag leisten.

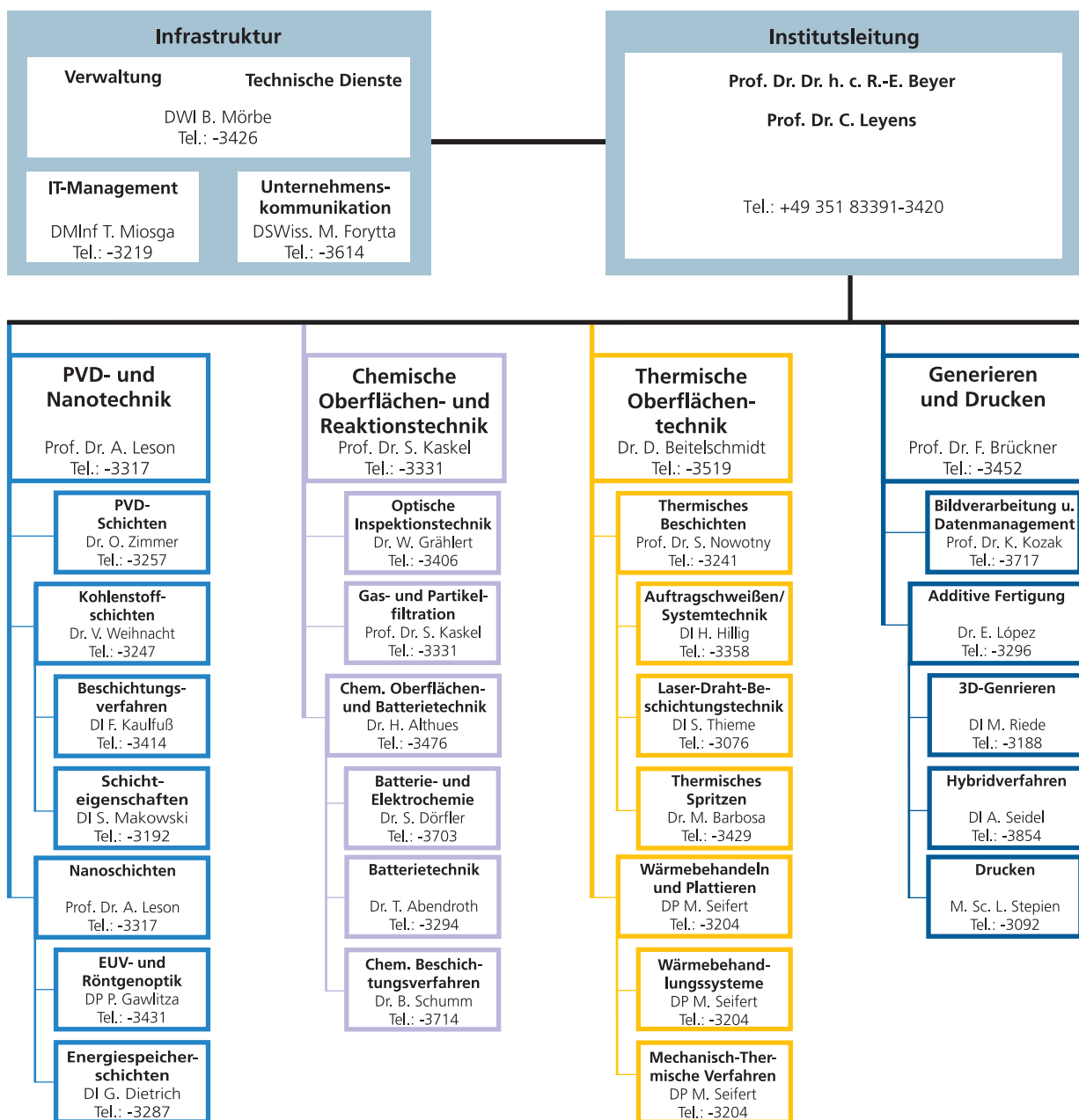
Dies sind nur einige Beispiele aus dem großen Spektrum von spannenden Themen des Fraunhofer-Institutes für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden. Mit Kreativität in der Forschung und gutem Verständnis der Anwendung leistet das Institut einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von »mission critical technologies«.

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

Ihr

Dr. Reinhold Achatz

ORGANISATION UND ANSPRECHPARTNER



Außenstellen IWS

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

DOC - Dortmund
Dr. T. Roch
Tel.: +49 231 844-3512

Kooperationspartner

PC Wroclaw - Polen
Prof. Dr. E. Chlebus
Tel.: +48 713 200-2705

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

CCL-Group - USA
Prof. Dr. C. Leyens
Tel.: +49 351 83391-3242

CLA
Laser Applications
C. Bratt
Tel.: +1 734 738-0550

CCD
Coatings and Diamond
Technologies
Prof. Dr. T. Schülke
Tel.: +1 517 432-8709

**Laserabtragen
und -trennen**

Dr. A. Wetzig
Tel.: -3229

Laserschneiden

Dr. P. Herwig
Tel.: -3199

**Prozessauslegung
und -analyse**

Dr. A. Mahrle
Tel.: -3407

**High-Speed-
Laserbearbeitung**

Dr. J. Hauptmann
Tel.: -3236

**Lasersystem-
technik**

DI. P. Rauscher
Tel.: -3012

**Laserschneiden
Nichtmetalle**

Dr. J. Hauptmann
Tel.: -3236

Fügen

Dr. J. Standfuß
Tel.: -3212

**Kleben und Faser-
verbundtechnik**

DI A. Klotzbach
Tel.: -3235

**Sonderfüge-
verfahren**

Dr. S. Schulze
Tel.: -3565

**Laserstrahl-
fügen**

Dr. A. Jahn
Tel.: -3237

**Laserstrahl-
schweißen**

Dr. D. Dittrich
Tel.: -3228

**Bauteil-
auslegung**

Dr. A. Jahn
Tel.: -3237

Mikrotechnik

Dr. U. Klotzbach
Tel.: -3252

**Mikromaterial-
bearbeiten**

DI V. Franke
Tel.: -3254

**Mikro- und Bio-
systemtechnik**

Dr. F. Sonntag
Tel.: -3259

**Oberflächen-
funktionalisierung**

Dr. T. Kunze
Tel.: -3661

IWS Zentren

**Zentrum Thermische
Oberflächentechnik**

Prof. Dr. C. Leyens Tel.: -3242

Zentrum Batterieforschung

Dr. H. Althues Tel.: -3476

Zentrum Tailored Joining

Dr. J. Standfuß Tel.: -3212

Zentrum Energieeffizienz

Prof. Dr. R.-E. Beyer Tel.: -3420

Zentrum Additive Fertigung

Prof. Dr. C. Leyens Tel.: -3242

**Center for Advanced Micro-
Photonics (CAMP)**

Dr. U. Klotzbach Tel.: -3252
Prof. Dr. A. Lasagni Tel.: -3007

Kompetenzfeld Werkstoffcharakterisierung und -prüfung

**Werkstoff- und
Schadensanalytik**

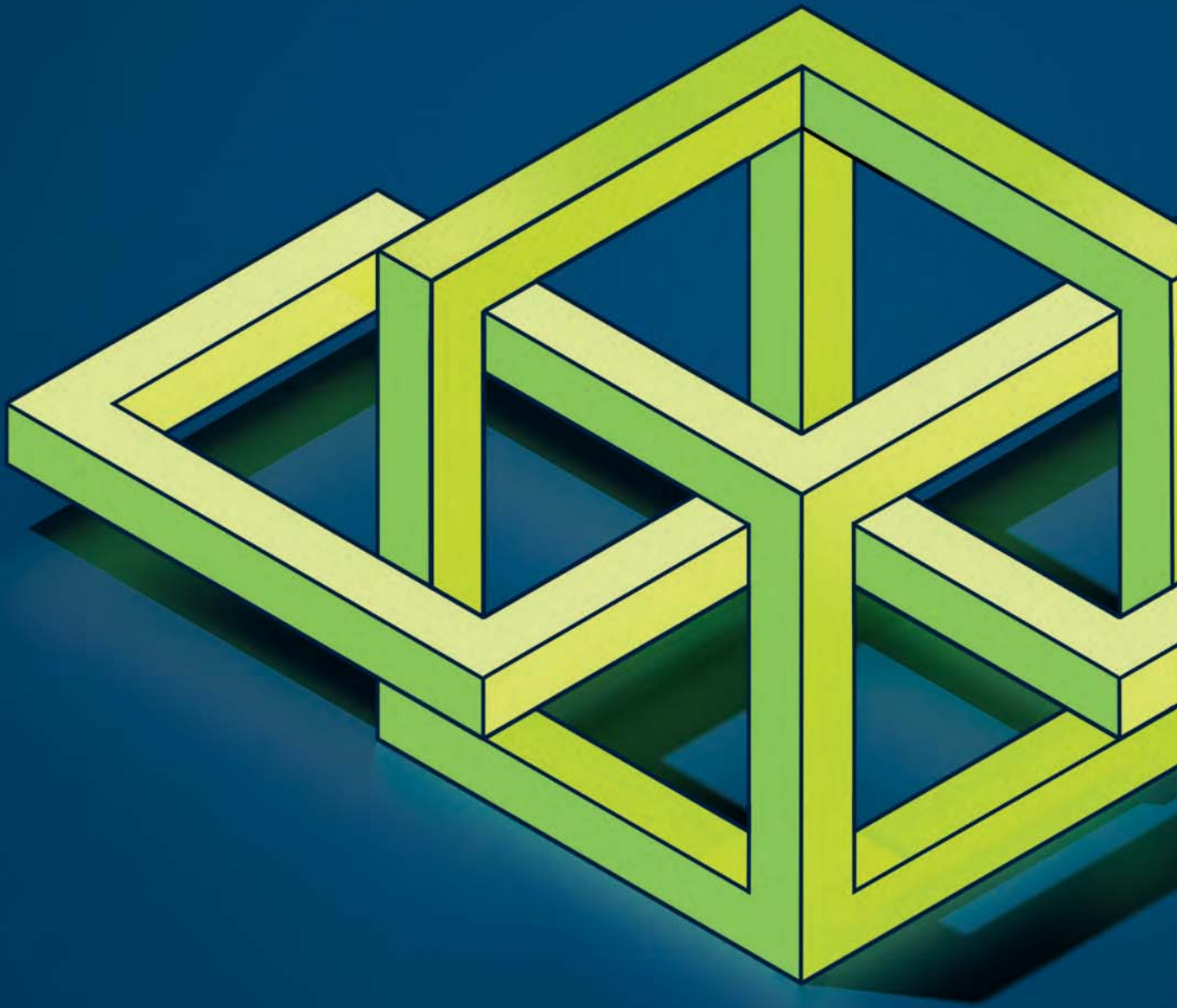
Dr. J. Kaspar
Tel.: -3216

Prof. Dr. M. Zimmermann
Tel.: -3573

**Werkstoff- und
Bauteilprüfung**

Prof. Dr. M. Zimmermann
Tel.: -3573

Stand Februar 2018



AUS DEN GESCHÄFTSFELDERN

PVD- UND NANOTECHNIK

CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND
REAKTIONSTECHNIK

THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK

GENERIEREN UND DRUCKEN

FÜGEN

LASERABTRAGEN UND -TRENNEN

MIKROTECHNIK

WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG
UND -PRÜFUNG



PVD- UND NANOTECHNIK



Geschäftsfeldleiter **Prof. Dr. Andreas Leson**

DAS GESCHÄFTSFELD

Hart, reibungsarm, reflektierend und elektrisch leitend – das Geschäftsfeld PVD- und Nanotechnik steht für einzigartige Oberflächen. Entwickelt und erforscht werden Verfahren zur Herstellung unterschiedlicher Schichten und Schichtsysteme, die auf physikalisch gestützten Abscheidungsverfahren basieren. Die Beschichtungslösungen des Geschäftsfeldes eignen sich für verschiedenste Anwendungen. Dabei richten die Wissenschaftler ein starkes Augenmerk auf die Herstellung und Anwendung enorm harter Kohlenstoffschichten, die sich durch ihre Verschleißbeständigkeit und geringe Reibung auszeichnen. Zunehmend rücken neben tribologischen auch funktionelle Eigenschaften in den Fokus: Simulationsverfahren und ein geeignetes Design ermöglichen auf den Anwendungsfall optimierte Schichtsysteme. Eine weitere Kompetenz des Geschäftsfeldes liegt in der Herstellung äußerst präziser Multischichten, die atomar genau abgeschieden werden. Ebenso erforschen und entwickeln die Wissenschaftler Hartstoffschichten mit Dicken von bis zu 100 Mikrometern, um die Widerstandsfähigkeit und Haltbarkeit von Maschinenkomponenten oder Werkzeugen zu erhöhen. Das Aufgabenspektrum umfasst neben der Erforschung von Beschichtungsprozessen auch die Entwicklung der jeweils zugehörigen Anlagentechnik.



Prof. Dr. Andreas Leson
 Abteilungsleiter Nanoschichten
 Tel.: +49 351 83391-3317
 andreas.leson@iws.fraunhofer.de



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



Dipl.-Phys. Peter Gawlitza
 Gruppenleiter EUV- und Röntgenoptik
 Tel.: +49 351 83391-3431
 peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de



Dr. Volker Weihnacht
 Abteilungsleiter Kohlenstoffschichten
 Tel.: +49 351 83391-3247
 volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de



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



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



Dr. Otmar Zimmer
 Gruppenleiter PVD-Schichten
 Tel.: +49 351 83391-3257
 otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de

HERMETISCHES FÜGEN MIT REAKTIVSYSTEMEN

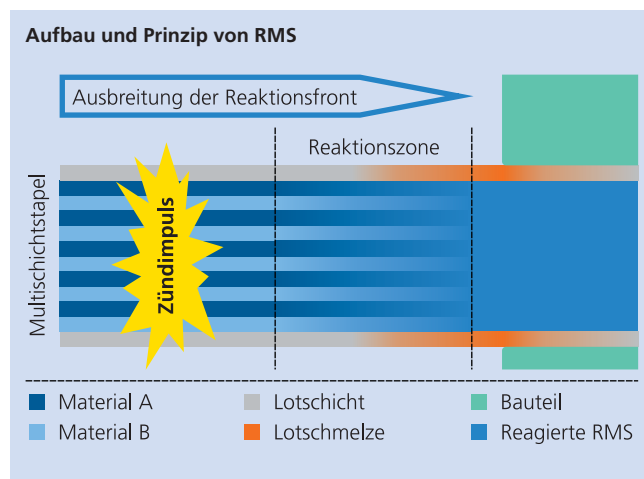
Reaktive Multischichtsysteme (RMS) werden am Fraunhofer IWS erfolgreich sowohl als innovative Fügetechnologie im Maschinenbau, als auch für die Mikrosystemtechnik entwickelt. Sie realisieren eine fügezoninterne Wärmequelle und ultrakurze Prozesszeiten, wodurch sich selbst schwer fügbare Materialien in kürzester Zeit ohne Volumenerwärmung löten lassen. Eine Herausforderung stellt das hermetisch dichte Fügen dar.

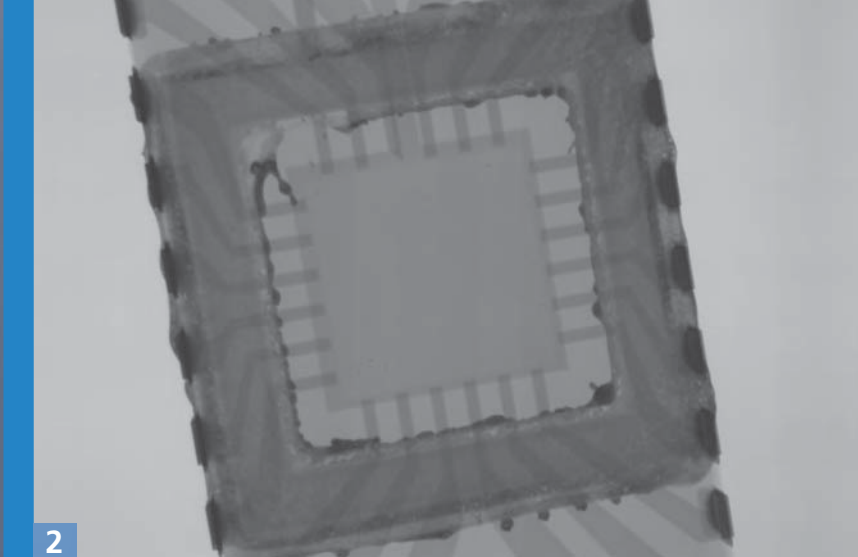
Fügeprozesse sollen in der Mikrosystemtechnik nicht nur eine dauerhafte Verbindung zwischen Komponenten einer Baugruppe herstellen, sie müssen zumeist zusätzliche Funktionen abdecken. Insbesondere realisieren sie auch elektrische Kontakte, Wärmebrücken und hermetisch abgeschlossene Kavitäten. Die derzeit eingesetzten Waferbondverfahren, wie das anodische Fusions-, Glasfritt-, das eutektische oder Thermokompressionsbonden erfordern hohe Prozesstemperaturen. Beim Einsatz verschiedener Materialien mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten führt dies zu Stress in der Fügezone und einer hohen Wärmebelastung der Fügepartner. Die genannten Nachteile der Fügeverfahren bei erhöhten Prozesstemperaturen lassen sich vermeiden, wenn die zum Fügeprozess erforderlichen Temperaturen nur auf die Fügestelle begrenzt, die Bauteile selbst aber davor verschont werden. Dies ist aufgrund der kurzen Prozesszeiten beim Fügen mit reaktiven Multischichtsystemen möglich.

Fügefestigkeiten von bis zu 30 Megapascal möglich

RMS bestehen aus hunderten periodisch aufgebauten Einzelschichten zweier Materialien, die miteinander reagieren können. Die einzelnen Schichtdicken betragen dabei nur wenige Nanometer. Ein RMS weist eine Dicke zwischen 5 und 120 Mikrometern auf und wird direkt in die Fügezone eingebracht – zum Beispiel als freistehende Folie oder auch als integrierte Direktbeschichtung der Fügepartner. Wird anschließend eine Aktivierungsenergie in die RMS eingebracht, so kommt es zu einer chemischen Reaktion. Dabei wird Energie in Form von Wärme

freigesetzt, die Grundmaterialien oder Lote aufschmelzen und darüber eine Fügeverbindung in Sekundenbruchteilen herstellen kann. Die reaktive Fügetechnik ermöglicht es, bereits Weichlot- und Thermoplastverbindungen sowohl auf Bauteil, Chip- und Waferlevel herzustellen. Die Festigkeiten der Fügeverbindungen können 30 Megapascal erreichen. Weiterhin zeichnen sich die Fügungen sowohl durch minimalen Stress in der Fügezone als auch hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit sowie ausgezeichnete Beständigkeit gegenüber feuchtwarmen Umgebungen aus. Dem Fraunhofer IWS Dresden gelang es, das Potenzial der reaktiven Fügetechnologie zu demonstrieren. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Technologie eröffnet derzeit weitere Anwendungsfelder. So werden sowohl die Arbeiten zum Hartlöten als auch zum hermetisch dichten Fügen mit RMS vorangetrieben.





Thermodepots geben Energie verzögert in Fügezogen ab

Bei der Reaktion der gebräuchlichsten und kostengünstigen Nickel-Aluminium-RMS schrumpft das Volumen um 12,4 Prozent. In der Folge bilden sich Risse in der Fügezone, die für das hermetische Fügen eine besondere Herausforderung darstellen. Diese Risse werden bei konventionellen RMS nicht mit Lot oder Grundwerkstoff ausgefüllt und wirken als Kanäle zwischen Kavität und Umgebung. Aktuelle Lösungsansätze befassen sich damit, die Fügeprozesstechnik und das RMS-Design anzupassen, um die Füllung der Risse während der Reaktion zu gewährleisten. Dazu soll mehr Lot bereitgestellt und dieses möglichst lange schmelzflüssig in der Fügezone gehalten werden, um Fließprozesse zu unterstützen. Die Lösung dieser Aufgabe besteht in dem Einbau von Thermodepots in die RMS. Diese speichern die blitzartig freiwerdende Energie aus der RMS-Reaktion zwischen und geben sie verzögert in die Fügezone ab. Vorteilhaft ist die Nutzung von Zinn als Thermodepot, da es zum einen nicht am Reaktionsprozess beteiligt ist und zum anderen als zusätzlicher Lotlieferant direkt in der Fügezone dient. Als besonders erfolgreich erweist es sich, zehn Mikrometer dicke Zindepots in eine 40 Mikrometer dicke Nickel-Aluminium-RMS einzubringen: So sinkt die Maximaltemperatur in der Fügezone zuverlässig um bis zu 400 Kelvin und das Lot bleibt vier Mal länger schmelzflüssig.

Weniger Risse und zuverlässige Lotfüllung

Fügeversuche zeigen, dass Zindepots innerhalb von Nickel-Aluminium-RMS das hermetisch dichte Fügen mit Weichloten erlauben. So lassen sich zum einen die Anzahl der Risse in der Fügezone verringern und zum anderen die auftretenden Risse zuverlässig mit Lot füllen. Nickel-Aluminium-RMS mit Zindepots erlauben aufgrund ihrer gespeicherten Energie ausschließlich die Verwendung von Zinnbasisloten. Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich daher mit der Nutzung von hochenergetischen Zirkonium-Silizium-RMS zum hermetischen Fügen von Bauteilen in der Mikrosystemtechnik. Diese Systeme bieten mehrere Vorteile:

So können sie doppelt so viel Energie wie Nickel-Aluminium-Systeme freisetzen und schrumpfen deutlich weniger als diese. Außerdem sind sie sowohl für Weichlote, als auch für Hartlote einsetzbar. Aufgrund der höheren Energiedichte reichen wenige Mikrometer dicke Schichten für das Fügen aus, um Rissbildungen entgegenzuwirken und einen Übertrag auf Waferlevel zu ermöglichen. Erste Untersuchungen zur Nutzung von 25 Mikrometer dicken, freistehenden Zirkonium-Silizium-RMS zeigen eine gute Rissfüllung und hermetisch dichte Fügungen mit zinnbasierten Weichloten. Versuche mit silberbasierten Hartloten erreichten Festigkeiten von über 100 Megapascal.

- 1 *Aktuelle Arbeiten am Fraunhofer IWS fokussieren sich auf die Übertragung der reaktiven Fügetechnologie auf die Mikrosystemtechnik. Die strukturierte Abscheidung von Zirkonium-Silizium-RMS wurde auf Waferebene demonstriert.*
- 2 *Hermetisches Fügen von Sensorgehäusen unter Nutzung von RMS wurde am Fraunhofer IWS erfolgreich durchgeführt. Die Fügezonen der hermetischen Verkapselung eines Sensorgehäuses zeigen in der Röntgenaufnahme keine Risse.*

Teile dieser Arbeiten wurden durch das IGF-Vorhaben 17370B sowie 19069BG der Forschungsvereinigung des Deutschen Verbandes für Schweißen und Verwandte Verfahren e. V. (DVS) über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert vom



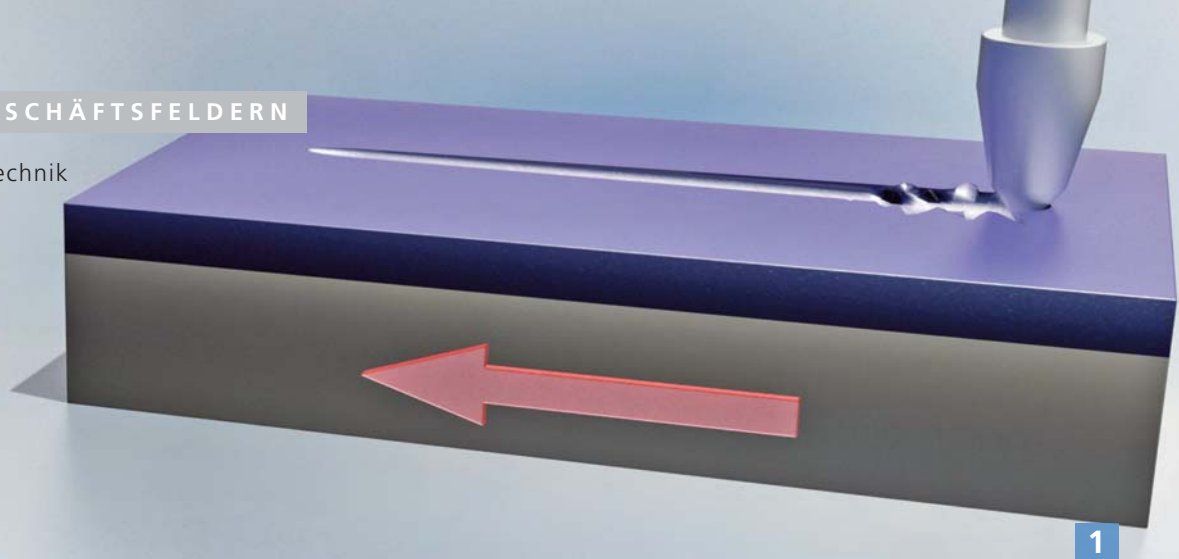
KONTAKT

Dipl.-Ing. Georg Dietrich
Energiespeicherschichten

+49 351 83391-3287

georg.dietrich@iws.fraunhofer.de





BESSERE HAFTUNGSPRÜFUNG DANK FLÄCHENANALYSE

Die Haftungsprüfung von harten Beschichtungen mit dem Ritztest ist durch den Einfluss von Versuchs- und Schichtparametern eingeschränkt. Forscher am Fraunhofer IWS entwickelten deshalb eine neue Auswertemethode. Dabei wird die Größe der Delaminationen betrachtet. Das ermöglicht eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse und eine unabhängige Quantifizierung der Ritzfestigkeit.

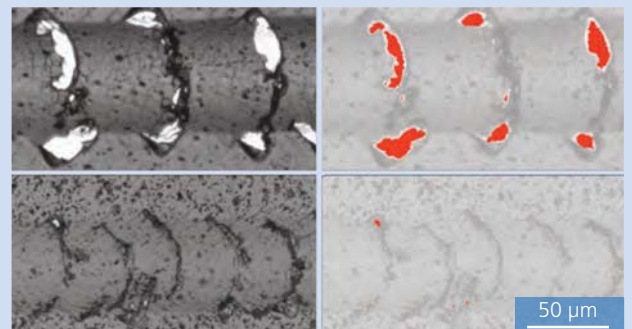
Für den Einsatz von harten Schichten auf Werkzeugen oder Bauteilen ist eine gute Anbindung an das Substrat essenziell. Deshalb besteht eine Hauptaufgabe bei der Beschichtung darin, die Haftung der Schicht geeignet zu prüfen. Zu diesem Zweck kommt üblicherweise der Ritztest zum Einsatz. Dabei wird eine Diamantspitze mit steigender Kraft über die Oberfläche geführt. Anhand der Last, ab der die Schicht abplatzt, wird die Haftung vergleichend bewertet. Diese kritischen Lasten hängen allerdings stark von den Eigenschaften von Substrat, Schicht und Diamantspitze ab. Deshalb lässt sich in vielen Fällen keine quantitative Aussage über die Haftung treffen.

Grenzflächeneigenschaft im Fokus

Das Fraunhofer IWS entwickelte eine Methode, mit der sich die Bewertung der Ritzfestigkeit entscheidend verbessert. Dabei wird die Größe der Delaminationsfläche beim Schichtversagen ausgewertet. Es zeigte sich, dass diese Größe viel weniger von den Prüfbedingungen abhängt. Die neue Methode ist besonders sensibel gegenüber den wirklich interessierenden Eigenschaften – denen der Grenzfläche. Die untersuchten Schichten weisen trotz unterschiedlicher Haftung eine ähnliche kritische Last auf. Durch die Bestimmung der Delaminationsfläche kann die Haftung eindeutig differenziert werden. Zusätzlich wird die Größe der Diamantspitze an die Schichtdicke angepasst, wodurch die Beanspruchung beim Ritzen gezielt in die Grenzfläche von Schicht- und Substratmaterial gelegt wird. Auch in diesem Fall reicht es nicht aus, lediglich die kritische Last zu bestimmen.

Da die Größe der Delaminationen im Zusammenhang mit der Beanspruchung der Grenzfläche steht, eignet sich dieser Kennwert zur Bewertung von »maßgeschneiderten« Ritztests.

Ritzspuren auf zwei verschiedenen Proben mit ähnlicher Schichtdicke



Schichtmaterial: Tetraedrisch amorpher Kohlenstoff. Links: Lichtmikroskopische Aufnahmen. Rechts: Detektion der adhäsiven Schäden (rot dargestellt).

- 1 Ritztest: Eine Diamantspitze wird mit steigendem Druck über die Oberfläche geführt. Je nach abgekratzter Beschichtungsmenge lassen sich Aussagen über deren Qualität treffen.

KONTAKT

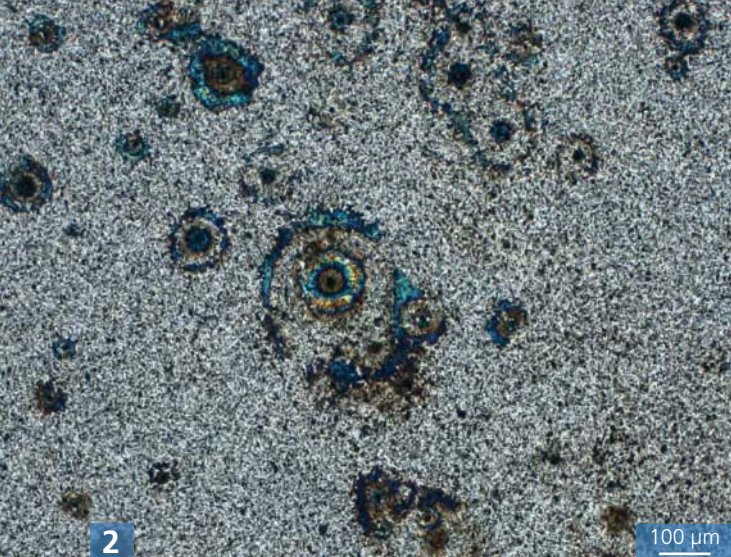
Dipl.-Ing. Martin Zawischa

Schichteigenschaften

☎ +49 351 83391-3096

✉ martin.zawischa@iws.fraunhofer.de



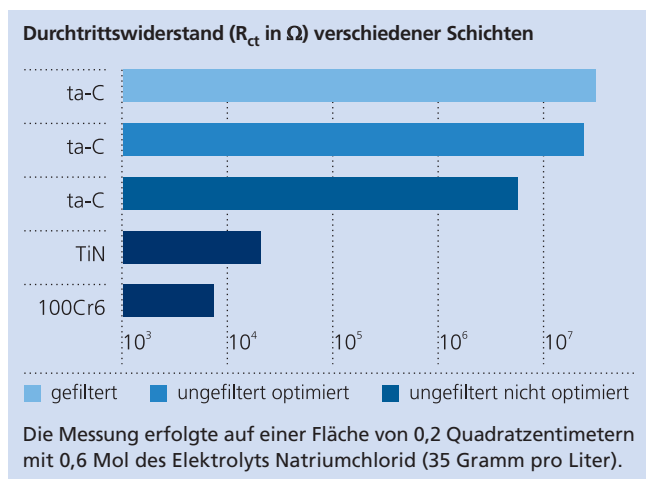


KORROSIONSBESTÄNDIGE KOHLENSTOFFSCHICHTEN

Superharte Kohlenstoffschichten eignen sich optimal für geschmierte tribologische Anwendungen. Das Fraunhofer IWS verbesserte die Korrosionsbeständigkeit von Systemen tetraedrischer wasserstofffreier amorpher Kohlenstoffschichten (ta-C) und wies dies mittels der elektrochemischen Impedanzspektroskopie nach.

Korrosionsgefährdete und zum Teil ungeschmierte tribologische Anwendungen sollen in Zukunft auch von superharten ta-C-Kohlenstoffschichten profitieren. Das Fraunhofer IWS qualifizierte mit der elektrochemischen Impedanzspektroskopie (EIS) ein Messverfahren, um die Eignung solcher Schichtsysteme als Korrosionsschutz quantitativ nachzuweisen. Auf diese Weise sind die Wissenschaftler in der Lage, Optimierungen vorzunehmen. Dazu prägen sie dem Prüfsystem, das aus einem beschichteten Substrat und einem Elektrolyt besteht, ein Wechselspannungssignal bei verschiedenen Frequenzen auf und registrieren das daraus resultierende Wechselstromsignal. Aus dem Verlauf wird ein Ersatzschaltbild abgeleitet, das den Aufbau der Schicht widerspiegelt. Damit werden Reaktionen, Schichtporosität und -homogenität abgebildet. Im Ergebnis sind zielgerichtete Optimierungen an Deck- und Zwischenschichten möglich, da

Veränderungen der Korrosionsbeständigkeit oft auf einzelne Schichtbereiche zurückzuführen sind. Dabei zeigte sich, dass ein hoher Durchtrittswiderstand R_{ct} mit einer hohen Korrosionsbeständigkeit einhergeht. Die Forscher des Fraunhofer IWS verbesserten den Durchtrittswiderstand signifikant, indem sie systematisch die Zusammensetzung und die Abscheidparameter der Zwischen- und Deckschicht variierten. Gegenüber Titanitrid (TiN) erreichte ta-C einen um zwei Größenordnungen höheren R_{ct} -Wert, der sich durch Optimierung des Interfaces noch anheben ließ. Eine weitere Steigerung erreichten die Wissenschaftler, indem sie eine Plasmafilterung einsetzten und somit eine höhere Schichthomogenität von ta-C erzielten. Die verbesserten homogenen Schichten erlauben weitere Wirkungsgradsteigerungen zum Beispiel im Automobilbau, wenn es darum geht, zu niedrig viskosen und wasserhaltigen Schmiermitteln überzugehen.



- 2 Eine nicht optimierte Oberfläche kann nach natürlicher Beanspruchung Korrosionsschäden aufweisen.
- 3 Nach einer Optimierung erscheint die Oberfläche homogener. Die stark reduzierte Korrosionsneigung konnte per EIS nachgewiesen werden.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Frank Kaulfuß

Beschichtungsverfahren

+49 351 83391-3414

frank.kaulfuss@iws.fraunhofer.de



VERSCHLEISSSCHUTZSCHICHTEN DER ZUKUNFT

Im Turbinenbau und der Luftfahrtindustrie gelten sie als Material der Zukunft: MAX-Phasen-Werkstoffe. Dahinter verbergen sich chemische Verbindungen in einer laminaren Struktur, die keramische und metallische Eigenschaften miteinander verbinden. Das Fraunhofer IWS untersuchte deren Herstellung als Dünnschichtsystem unter Nutzung der industriellen »Arc-PVD-Technologie«.

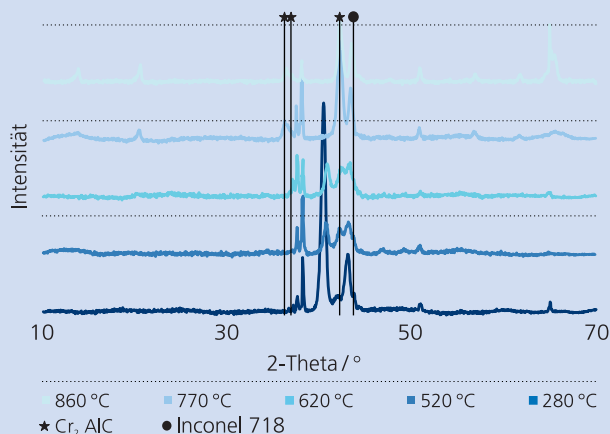
MAX-Phasen-Werkstoffe verbinden keramische und metallische Eigenschaften miteinander. Das macht die Kombination etwa aus Härte und Duktilität auch als Dünnschichtsysteme für eine Vielzahl von Anwendungen interessant. Als Abkürzung steht »MAX« für Übergangsmetall (M), Hauptgruppenelement (A) und für Kohlenstoff oder Stickstoff (X). Das Fraunhofer IWS untersuchte, ob sich die Herstellung dieser Schichten mit der »Arc-PVD-Technologie« (dc-Arc) realisieren lässt, einer Standardtechnologie für die Beschichtung von Werkzeugen und Bauteilen. Als konkretes Materialsystem wählten die Wissenschaftler Chrom-Aluminum-Kohlenstoff-MAX-Phasen aus, da diese das Potenzial für verschiedenste Anwendungen besitzen. Die erzeugten Schichten stellen verfahrensbedingt ein Phasengemisch dar und weisen weitere karbidische und intermetallische

Phasen auf. Die Zusammensetzung hängt stark von der Temperatur während der Schichtherstellung ab. Höchste MAX-Phase-Gehalte lassen sich bei Temperaturen zwischen 800 und 900 Grad Celsius erreichen.

Interessante Alternative für harte und duktile Oberflächen

Die Schichten zeigten ermutigende Ergebnisse im Erosionstest. Sie bieten auch bei sehr unterschiedlichen Einfallswinkeln des Strahlgutes eine gute Schutzwirkung – ein deutliches Indiz für sowohl metallische als auch keramische Eigenschaften, insbesondere hoher Härte und geringer Sprödigkeit. Die Forscher des Fraunhofer IWS wiesen nach, dass sich MAX-Schichten mit einer industriell etablierten Technologie erosionsbeständig herstellen lassen. Somit stellen sie eine interessante Alternative für Anwendungen dar, bei denen harte und gleichzeitig duktile Oberflächen benötigt werden. Dazu können zum Beispiel stark belastete Maschinenkomponenten gehören. Der nächste Schritt ist die Übertragung des neuen Schichtsystems auf industrielle Anwendungen.

Abhängigkeit der Phasenbildung von der Abscheidetemperatur



KONTAKT

Dr. Otmar Zimmer

PVD-Schichten

+49 351 83391-3257

otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de





MULTISCHICHT-LAUE-LINSEN FÜR DIE NANO-ANALYTIK

Röntgenmikroskopie bietet vielseitige Möglichkeiten für die zerstörungsfreie Untersuchung von Materialeigenschaften. Die erreichbare Ortsauflösung der eingesetzten Optiken findet ihre Grenzen in der numerischen Apertur und der herausfordernden Herstellung. Das Fraunhofer IWS entwickelte Röntgenlinsen, die hochauflösende in-situ Untersuchungen ermöglichen.

Für die Fokussierung von Röntgenstrahlen auf Nanometerstrahlgrößen stellte das Fraunhofer IWS Multischicht-Laue-Linsen (MLL) her. Dabei handelt es sich um Optiken, die sich besonders für harte Röntgenstrahlung mit einer Photonenenergie ab etwa fünf Kiloelektronenvolt eignen. MLL bestehen aus einem tiefengradienten System aus vielen tausend Einzelschichten. Die dünnsten davon messen nur wenige Nanometer und die Gesamtdicke beträgt aktuell bis zu 100 Mikrometern. Eine besondere Herausforderung stellt die Prozessstabilität während der Abscheidung der Schichten dar, da diese typischerweise mehrere Tage in Anspruch nimmt. Die MLL-Beschichtung wird anschließend mittels Laser und Focused Ion Beam (FIB) strukturiert. Da es sich um eine eindimensionale Optik handelt, müssen für eine zweidimensionale Fokussierung beziehungsweise Vollfeldabbildung zwei MLL-Lamellen gekreuzt und im Strahlengang hintereinander angeordnet werden. Mit so einer Linse erreichten die Forscher des Fraunhofer IWS beim fokussierten Röntgenstrahl einen Durchmesser von weniger als 25 Nanometern mit einem Arbeitsabstand von mehreren Millimetern. Damit ermöglichen sie es erstmals, auch Aufbauten mit höherem Platzbedarf für in-situ Experimente mit dieser Auflösung zu nutzen.

Effizienzen gesteigert

Das Fraunhofer IWS hat speziell für MLL eine Methode entwickelt, um die Abscheidung besonders vieler Einzelschichten zu ermöglichen. Zusätzlich zu den Materialien Molybdän und

Silizium wird Kohlenstoff als Zwischenschicht verwendet, um optimale Eigenspannungszustände einstellen zu können. Außerdem führt diese Materialkombination im Vergleich zu anderen Systemen zu sehr hohen Fokussierungseffizienzen. Die MLL konzentrieren einen großen Anteil der primär einfallenden Röntgenstrahlung in den Fokuspunkt. Mit einer weiteren Optimierung der MLL-Geometrie und des Abscheidungsprozesses erwartet das Forscherteam in Zukunft noch deutlich kleinere Fokuse und höhere Effizienzen für relevante Röntgenenergien.

- 1 *Fertiggestellte MLL-Lamelle nach der Strukturierung. Der zentrale dünne Steg ist die Apertur der Linse und wurde mit Hilfe von FIB präpariert.*

KONTAKT

Dipl.-Phys. Adam Kubec

EUV- u. Röntgenoptik

+49 351 83391-3572

adam.kubec@iws.fraunhofer.de



CHEMISCHE OBERFLÄCHEN- UND REAKTIONSTECHNIK



Geschäftsfeldleiter **Prof. Dr. Stefan Kaskel**

DAS GESCHÄFTSFELD

Die Batterien der nächsten Generation erforscht das Geschäftsfeld Chemische Oberflächen- und Reaktionstechnik. Elektromobilität und stationäre Energiespeicher zählen zu den zentralen Themen. Entwickelt werden Methoden für die schnelle, effiziente und sichere Fertigung. Im Mittelpunkt steht die Lithium-Schwefel-Technologie, erforscht werden aber auch weitere innovative Ansätze wie etwa die Festkörperbatterie. Die Grundlage bildet ein tiefgründiges Verständnis der chemischen Prozesse innerhalb der Batterie. Auf dieser Basis entwickeln die Wissenschaftler des Fraunhofer IWS Dresden die passende Systemtechnik und nutzen Monitoring- sowie Charakterisierungsmethoden, um Prozesse sowie Beschichtungen zügig mit bildgebenden Verfahren für jegliches Flächenmaß zu analysieren. In der Oberflächenanalytik verbindet das Geschäftsfeld vertieftes Fachwissen in der Systementwicklung mit ausgereifter Werkstoffkenntnis. Egal, ob es sich um Beschichtungs- oder Grundwerkstoffe handelt – die Wissenschaftler kennen die physikalischen Eigenschaften und ihr Anwendungsprofil genau und bieten maßgeschneiderte Methoden zur Oberflächenevaluierung, wie die optische Inspektionstechnik mittels hyperspektraler Bildgebung.



Dr. Holger Althues

Abteilungsleiter Chemische Oberflächen- und Batterietechnik

Tel.: +49 351 83391-3476

holger.althues@iws.fraunhofer.de



Dr. Susanne Dörfler

Gruppenleiterin Batterie- und Elektrochemie

Tel.: +49 351 83391-3703

susanne.doerfler@iws.fraunhofer.de



Dr. Thomas Abendroth

Gruppenleiter Batterietechnik

Tel.: +49 351 83391-3294

thomas.abendroth@iws.fraunhofer.de



Dr. Benjamin Schumm

Gruppenleiter Chemische Beschichtungsverfahren

Tel.: +49 351 83391-3714

benjamin.schumm@iws.fraunhofer.de



Dr. Wulf Grählert

Gruppenleiter Optische Inspektionstechnik

Tel.: +49 351 83391-3406

wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de



Prof. Dr. Stefan Kaskel

Gruppenleiter Gas- und Partikelfiltration

Tel.: +49 351 83391-3331

stefan.kaskel@iws.fraunhofer.de



LITHIUM-SCHWEFEL-BATTERIEN: LEICHT UND SICHER?

Die Lithium-Schwefel-Technologie (Li-S) verspricht eine Steigerung der Energiedichte, aber viele andere wichtige Zell-Eigenschaften sind noch wenig untersucht. Im Rahmen des Projektes »SepaLiS« entwickelt und evaluiert das Fraunhofer IWS zusammen mit Partnern Li-S-Prototypzellen. In ersten Sicherheitstests zeichnet sich eine weitere Stärke der Lithium-Schwefel-Chemie ab.

Die Erwartungen an zukünftige Energiespeicher für Elektrofahrzeuge sind anspruchsvoll und vielschichtig. Die Entwicklung muss sich entlang der wesentlichen Kriterien Reichweite, Schnellladefähigkeit, Lebensdauer, Kosten und vor allem Sicherheit vollziehen. Eine neue Zellchemie hinsichtlich dieser Anforderungen lässt sich jedoch erst dann evaluieren, wenn auch geeignete Prototypzellen reproduzierbar gefertigt werden können. Tests an Knopf- oder vergleichbaren Laborzellen lassen in der Regel keine Rückschlüsse auf die Eigenschaften im Anwendungsfall zu. So besteht aktuell eine deutliche Lücke zwischen akademischen Forschungsergebnissen und dem Bedarf an industrierelevanten Daten zukünftiger Batteriesysteme.

Fraunhofer IWS bringt Zellchemie der nächsten Generation in Prototypfertigung

An dieser Stelle setzt das Fraunhofer IWS mit dem Zentrum für Batterieforschung an. In seinen Laboren bildet das Institut die gesamte Prozesskette von der Materialentwicklung bis zur Fertigung von Batteriezellen ab. Beschichtungsverfahren zur Elektrodenfertigung, Konfektionieren mittels Laserschneiden, automatisierte Assemblierung der Zellstapel und das Kontaktieren durch Laserschweißen sind wichtige Glieder dieser Kette. Im Rahmen des BMBF-Projektes »SepaLiS« hat das Konsortium aus vier Industrieunternehmen und zwei Fraunhofer-Instituten nun ein Zelldesign festgelegt, das mit der IWS-Anlagentechnik zur Fertigung von Kleinserien umgesetzt werden soll. Auch neue Zellkomponenten bilden die Grundlage für diesen Zelltyp.

So setzt das Fraunhofer IWS beschichtete Separatoren ein, entwickelt neue Kathoden und fertigt diese Komponenten im Rolle-zu-Rolle-Verfahren. Eine weitere Schlüsselkomponente stellt das patentierte Elektrolytsystem dar, mit dem das Eigenschaftsprofil der Li-S-Zellen neu definiert werden kann. Unter Einsatz von Lösungsmitteln auf Basis von Sulfonen und fluorierten Ethern verbessert der IWS-Elektrolyt die Li-S-Zellen hinsichtlich Lebensdauer, Energiedichte und Sicherheit. Prototypzellen mit diesem Elektrolytrezept erreichen bereits über 100 Lade- und Entladezyklen mit nur geringem Kapazitätsverlust (< 10 Prozent). Der Ionentransport in diesem Elektrolytsystem funktioniert auch in stark verdichteten Kathoden, sodass kompakte Zellen mit hoher volumetrischer Energiedichte gebaut werden können, die über 400 Wattstunden pro Liter erreichen.

Wie sicher sind Lithium-Schwefel-Zellen?

Wenig ist bisher über die Sicherheit von Li-S-Zellen bekannt. Während einige renommierte Batterie-Experten vor den Gefahren beim Einsatz von Li-Metall-Anoden warnen, werben Entwickler der Li-S-Technologie mit einer sicheren Zellchemie. Das Fraunhofer IWS hat nun Li-S-Prototypzellen mit einer Kapazität von etwa 3,5 Amperestunden aufgebaut und von seinem industriellen Projektpartner auf ihre Sicherheit hin evaluieren lassen. Die Zellen wurden dabei den Standardtests unterzogen, die für eine Zulassung in Automobilanwendungen notwendig sind. Das Temperaturverhalten wird überwacht und visuelle Veränderungen mit einer Kamera aufgenommen. Die Tests umfassen:



2

- Überladung (die Zelle wird auf das Doppelte der Ladeschlussspannung geladen)
- Externer Kurzschluss (die Zelle wird niederohmig kurzgeschlossen)
- Simulierter interner Kurzschluss (die Zelle wird mit einem Keramiknagel penetriert)
- Künstliche Überhitzung (die Zelle wird bis 150 Grad Celsius mit definierter Rampe geheizt)

Die Ergebnisse überraschten in positiver Hinsicht. Die Li-S-Zellen erreichten in allen Tests die Einstufung »Hazardlevel« (HL) kleiner gleich drei. Das bedeutet, die Zellen öffnen sich und Elektrolyt verdampft unter bestimmten Bedingungen, aber in keinem Fall führten die Tests zum thermischen Durchgehen oder gar zur Explosion. Vergleichbare Zellen auf Lithium-Ionen-Basis können bereits durch Überladung oder einen Kurzschluss explodieren. Einzig eine Temperatur von mehr als 180 Grad Celsius stellt eine kritische Bedingung für die Li-S-Zellen dar. Bei dieser Temperatur schmilzt metallisches Lithium und es kann zu einem heftigen Metallbrand kommen. Diese Temperatur wird jedoch unter den standardisierten Testbedingungen nicht erreicht, sodass den Li-S-Zellen insgesamt eine hohe Sicherheit bescheinigt werden kann.

Zusammenfassung & Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass die erhöhte Sicherheit ein wichtiges Merkmal der Li-S-Technologie darstellt. Der neue IWS-Elektrolyt trägt zudem dazu bei, hohe Energiedichten bis zu 400 Wattstunden pro Liter zu erreichen. Das übertrifft alle bisherigen Messergebnisse zu Li-S-Zellen deutlich. Mit diesen Meilensteinen geht das Fraunhofer IWS zusammen mit den SepaLiS-Projektpartnern in die nächste Phase, in der großformatige Pouchzellen

automatisiert gefertigt und weiteren Tests unterzogen werden. Durch die Weiterentwicklung des Elektrolyten und der neuen Membrantechnologie soll die Zyklenstabilität der Zellen weiter gesteigert werden.

- 1 *Anlage zum automatisierten Vereinzeln von Elektrodenfolien mittels Laserstrahlschneiden.*
- 2 *Neues Elektrolysystem und Prototyp-Lithium-Schwefel-Zelle.*

Gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FKZ: 03XP0031A

KONTAKT

Dr. Holger Althues

Chemische Oberflächen- und Batterietechnik

☎ +49 351 83391-3476

✉ holger.althues@iws.fraunhofer.de





SAUBERE LUFT DURCH INNOVATIVE FILTERMEDIEN

Saubere Luft ist essenziell für ein gesundes Leben. Ob in der Stadt oder am Arbeitsplatz in geschlossenen Räumen – eine hohe Luftqualität bedeutet ein hohes Maß an Lebensqualität und persönliche Sicherheit. Eine Verbesserung der Luftqualität und die Gewährleistung sauberer Luft erfordert eine verlässliche Kontrolle und Überwachung von Gas- und Partikelemissionen.

Luftverschmutzung ist ein steter Begleiter unseres Alltags und erfordert zunehmend eine effiziente Aufreinigung in nahezu jedem unserer Lebensbereiche. Industrielle Produktionsprozesse, bei denen gesundheitsschädliche Gase oder Partikel entstehen, erfordern eine Emissionsüberwachung, Einhausung und geeignete interne Filtersysteme, um die Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiter und Fachanwender zu gewährleisten. Luftgetragene Partikel, aber auch Schadgase wie Kohlenstoffdioxid, Stickoxide (NO_x) und eine Vielzahl an leicht flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) wie Formaldehyd oder Toluol stehen im Fokus des Umweltmanagements und Arbeitsschutzes. Für das Entfernen von Gasen und Partikeln ist eine Kenntnis der Art, Eigenschaften und Zusammensetzung der vorhandenen Schadstoffe essenziell. Welche Schadstoffe befinden sich in welcher Form – gas-, partikelförmig oder beides – im Abgasstrom oder in der Umgebungsluft? Wie hoch sind deren Konzentrationen und welche gültigen Grenzwerte dürfen nicht

überschritten werden? Welchen Einfluss haben Temperatur, Druck und Luftfeuchtigkeit? Mit Hilfe der Antworten auf diese Fragestellungen lassen sich individuelle Gas- und Partikelfiltrationsmodule konzipieren. Am Fraunhofer IWS werden neben der Durchführung von Partikelgrößenverteilungsanalysen an Prozessabgasen und an Arbeitsplätzen auch Gasphasen hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung mittels Infrarotspektroskopie untersucht. Über einen an die zu analysierende Gasphase individuell angepassten Messaufbau werden die relevanten messtechnischen Größen erfasst. Anhand dieser Daten werden geeignete funktionelle Materialien (Adsorber, Katalysatoren, Membranen) für das Entfernen der Substanzen ausgewählt. Diese werden prozessnah getestet und neue Materialien evaluiert. Dabei spiegelt die Entwicklung neuer Messtechnik für die Charakterisierung der Gasphase sowie der funktionellen Materialien einen weiteren Schwerpunkt des Aufgabenspektrums wider. Auf Basis der Untersuchungen können Empfehlungen für individuelle Filtermodule für die Gas- und Partikelfiltration ausgesprochen und konstruktiv umgesetzt werden.

Mithilfe von hochempfindlichen Messgeräten zur Partikel- und Gasanalyse können selbst die kleinsten Bestandteile in Prozessabgasen messtechnisch erfasst werden.



1 *Der Einsatz von innovativen Filtermedien kann die Luft im Auto gänzlich von potentiell schädlichen Gasen befreien.*

KONTAKT

Prof. Dr. Stefan Kaskel

Gas- und Partikelfiltration

☎ +49 351 83391-3331

✉ stefan.kaskel@iws.fraunhofer.de





2



3

RECYCLING IM LEICHTBAU – HOHE RÜCKGEWINNUNGSQUALITÄT VON C-FASERN

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) erfreuen sich als Leichtbaumaterialien immer größerer Beliebtheit. Nach dem Ende ihrer Einsatzdauer bleibt jedoch die Frage nach der Rückgewinnung der Kohlenstofffasern aus dem Kompositmaterial. Das Recyclingverfahren entscheidet über die Qualität der wiedergewonnenen Fasern und deren Potenzial, erneut als Verstärkungsmaterial eingesetzt zu werden.

Das Recycling alter CFK-Teile stellt die Industrie vor große Herausforderungen. Aufgrund der minderwertigen Qualität von wiedergewonnenen Kohlenstofffasern sucht die Forschung nach neuen, alternativen Verfahren. Bislang wird industriell nur die Pyrolyse in speziellen Öfen eingesetzt, bei der die Polymermatrix unter Sauerstoffausschluss thermisch zersetzt wird. Zuvor ist ein mechanischer Zerkleinerungsprozess der CFK-Teile notwendig, der die Fasern deutlich verkürzt. Die lang dauernde thermische Behandlung bei der Pyrolyse führt zu einer Abnahme der mechanischen Festigkeitskennwerte der Kohlenstofffasern. Die Wiedergewinnung und Weiterverarbeitung von Zuschnitten, sogenannten Patches, im Gegensatz zu ungeordneten Kurzfasern bietet deutliche Vorteile, weshalb ein Fokus auf diesem Gebiet liegt. Für das Recycling von CFK-Patches entwickelten Forscher am Fraunhofer IWS ein neuartiges Verfahren, das die Polymermatrix besonders schonend und effizient entfernt.

Direkte Aufheizung der Fasern zersetzt umliegendes Polymer

Das Verfahren nutzt die eingebetteten Faserfilamente zur direkten Aufheizung des Verbundbauteils »von innen heraus«. Die Forscher legen hierfür eine elektrische Spannung an die Kohlenstofffasern an, wodurch Strom in den Fasern fließt und diese stark erwärmt. Das umliegende Polymer zersetzt sich unter diesen Bedingungen in seine gasförmigen Bestandteile und hinterlässt die freigelegten Kohlenstofffasern. Eine gezielte Regelung der Fasertemperatur verhindert eine Überhitzung

des Materials. Zurück bleibt nur das Kohlenstofffaser-Patch in seiner ursprünglichen textilen Struktur. Der Erhalt von Faserlänge und Orientierung innerhalb eines Zuschnittes ermöglicht es, aus mehreren Kohlenstofffaser-Patches und einem Polymer ein neues CFK-Verbundbauteil herzustellen. Dieses hat im Vergleich zu einem aus Kurzfasern hergestellten Bauteil höhere Festigkeitskennwerte. Aufgrund der direkten Faserheizung ist das Verfahren extrem schnell und energieeffizient. Das Matrixmaterial wird auch zwischen den einzelnen Filamenten restlos entfernt. Eine Nachbehandlung mit oxidativen Gasen im selben oder einem nachgeschalteten Prozessschritt entfernt letzte Rückstände auf den Fasern und aktiviert gleichzeitig die Faseroberfläche für die nachfolgende Polymermatrix-Einbettung.

- 2 *CFK-Platte mit Epoxidharzmatrix, deren Kohlenstofffasern wiedergewonnen werden sollen.*
- 3 *Recycelte und leicht zu separierende Kohlenstofffasern aus dem in Bild 2 dargestellten CFK. Die textile Struktur bleibt während des Prozesses erhalten.*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Verena Kloiber

Plasmatechnik und Nanomaterialien

☎ +49 351 83391-3087

✉ verena.kloiber@iws.fraunhofer.de



FLÄCHENINSPEKTION LEICHT GEMACHT

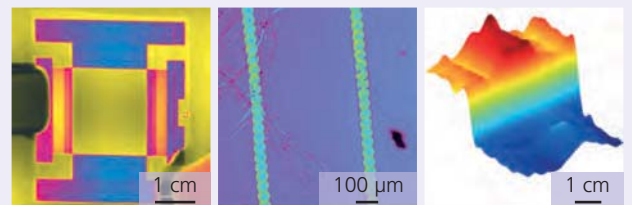
Die hyperspektrale Bildgebung (HSI) erzeugt umfangreiche Datensätze. Nur mit einer leistungsfähigen Software lassen sich die mehrere Gigabyte großen »Hypercubes« aufnehmen, verarbeiten und visualisieren. Das Fraunhofer IWS eröffnet mit »imanto[®]pro« ungeahnte Möglichkeiten zur Lösung industrieller Inspektionsaufgaben.

Die hyperspektrale Bildgebung ist ein schnell wachsendes Segment der optischen Inspektionstechnologie, insbesondere der kontinuierlichen 100-Prozent-Prüfung. Sie ermittelt detaillierte Informationen über die Chemie und den Aufbau eines Untersuchungsobjekts, indem sie die reflektierte Strahlung gleichzeitig spektral und lateral aufgelöst misst. Daraus lassen sich anschließend durch eine automatisierte Auswertung beispielsweise Qualitätsparameter der Proben ableiten oder Defektzonen einfach lokalisieren. Mit imanto[®]pro entwickelte das Fraunhofer IWS die passende Softwarelösung für eine anwendungsspezifische Aufnahme, Verarbeitung sowie Auswertung hyperspektraler Datensätze. Dabei lassen sich alle Schritte der Inspektion begleiten, beginnend von der Evaluierung der Messaufgabe, der Anpassung einzelner Hardware- und Messparameter bis hin zur Festlegung des Messprotokolls.

HSI-gestützte Prozessregelung

Die Software imanto[®]pro bietet sowohl Möglichkeiten zur Datenexploration bei neuen Messaufgaben als auch die Anbindung an Produktionsprozesse für die Weiterverarbeitung der Ergebnisse. Insbesondere für letzteres stehen modellbasierte Algorithmen zur Verfügung, die eine schnelle Bewertung innerhalb der Taktzeiten von »Inline-Prozessen« zulassen. Die optisch berührungslose Messung spricht eine große Vielfalt von Inspektionsaufgaben für Bauteile, Oberflächen, Pulver oder Stückgüter an. Dazu können zum Beispiel die Bewertung der Sauberkeit, die Defektkontrolle, die Fremdkörpererkennung

HSI-gestützte Inspektion von Dünnschichtsystemen



Visualisierung der Materialverteilung in einem OLED-Bauteil bei 1310 Nanometern (l.), Bewertung der Gleichmäßigkeit des Laserabtrages während der Herstellung organischer Solarzellen (M.) und Visualisierung der Änderung des Flächenwiderstandes einer ITO-Schicht durch Einsatz von Blitzlichtlampen (r.).

oder auch anwendungsspezifische Qualitätskriterien gehören. Darüber hinaus lassen sich auch gezielt Kennwerte orts aufgelöst bestimmen, wie zum Beispiel die Schichtdicke oder der Flächenwiderstand dünner Schichten.

KONTAKT

Dr. Wulf Grähler

Optische Inspektionstechnik

+49 351 83391-3406

wulf.graehler@iws.fraunhofer.de





1

KOHLENSTOFFHÜLLEN FÜR BATTERIE-MATERIALIEN DER NÄCHSTEN GENERATION

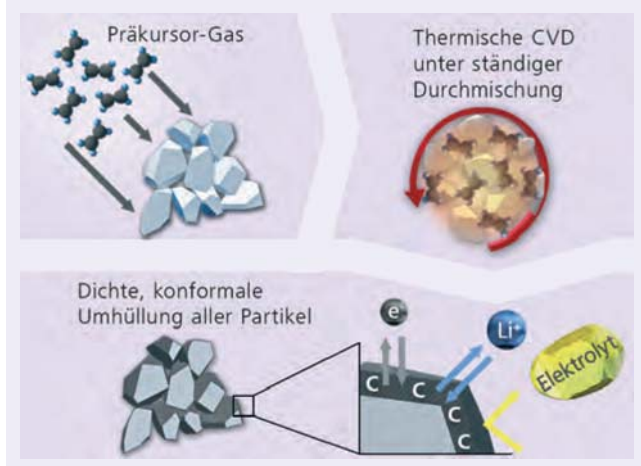
Die Batteriematerialien der nächsten Generation weisen erhöhte Energiedichten auf und eröffnen somit einen gewaltigen Markt. Voraussetzung sind maßgeschneiderte Oberflächen. Sie verringern Zersetzungsreaktionen bei Elektrolytkontakt beziehungsweise machen sie diese kontrollierbar. Nur so ist die geforderte Lebensdauer auch für Hochenergiekathoden zu erreichen.

Wissenschaftler des Fraunhofer IWS haben einen Prozess zur chemischen Gasphasenabscheidung von Kohlenstoff entwickelt. Damit ist es möglich, pulverförmige Batterieaktivmaterialien zu beschichten. Durch ständiges Vermischen des Pulvers im Reaktor werden alle Partikel gleichmäßig mit Kohlenstoffhüllen versehen. Eine schonende Behandlung erlaubt zudem auch das Beschichten hitzeempfindlicher Materialien, ohne ihre Kristallstruktur zu zerstören. Die so entstandenen Kohlenstoffhüllen fungieren bei den Materialien wie zum Beispiel Lithium-Mangan-Nickel-Oxid (LMNO), Lithiumtitanat (LTO) oder Lithium-Nickel-Cobalt-Oxid (NCM) als Schutzschicht gegenüber Elektrolytbestandteilen und Feuchtigkeit. Zudem erhöhen sie die elektrische Leitfähigkeit der oxidischen Partikel. Indem die Forscher die Prozessparameter anpassen, können sie Eigenschaften wie Dichtigkeit der Hülle, Homogenität der Abscheidung und Dicke der Schicht (zwischen einem und 100 Nanometern) einstellen. Außerdem sind sie in der Lage, Kohlenstoff von amorph bis graphitisch sowie die elektrische und die Lithium-Ionen-Leitfähigkeit zu modifizieren.

Entwicklung stabilerer Batteriezellen

Die gezielte Modifizierung von Oberflächeneigenschaften der pulverförmigen Aktivmaterialien reiht sich ein in eine Prozesskette zur Fertigung von Batteriezellen der nächsten Generation am IWS. Weitere Schwerpunkte sind kostengünstige Prozesse zur Herstellung maßgeschneiderter Elektroden, sowie die

Schematischer Ablauf der Kohlenstoffbeschichtung per chemischer Gasphasenabscheidung (CVD)



Assemblierung und Evaluierung von Prototypzellen. Materialinnovationen lassen sich so schnell und anwendungsnah bewerten.

1 Unbeschichtetes (weiß) und beschichtetes (schwarz) Aktivmaterial.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Kay Schönherr
 Chemische Beschichtungsverfahren
 ☎ +49 351 83391-3003
 ✉ kay.schoenherr@ivs.fraunhofer.de



THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK



Geschäftsfeldleiterin **Dr. Denise Beitelschmidt**

DAS GESCHÄFTSFELD

Aus einer Hand zum hochautomatisierten Prozess: Die Thermische Oberflächentechnik hat die gesamte Wertschöpfungskette der Systemtechnik- und Prozessentwicklung rund um Beschichtungsaufbau- und Wärmebehandlung im Blick. Energie- und Ressourceneffizienz tragen dabei den Anforderungen hinsichtlich Ökonomie und Ökologie der Prozesse Rechnung. Wenn es darum geht, Verfahren mit hohen Komplexitätsgraden effizient zu gestalten, diese in innovative Prozesse zu überführen und mit dem Zielprodukt in Einklang zu bringen, dann punktet das Geschäftsfeld mit seiner Erfahrung in Forschung und Praxis. Das Angebotsspektrum umfasst die Prozess- und Systemtechnikentwicklung für lasergestützte Beschichtungs- und Aufbauverfahren, das thermische Spritzen sowie die Wärmebehandlung mit besonderem Fokus auf hochpräzise Randschichthärteverfahren. Unter dem Schlagwort Industrie 4.0 arbeitet das Fraunhofer IWS beständig daran, immer höhere Automatisierungsgrade zu erzielen. Das übergeordnete Ziel: Prozesssicherheit einer effizienten, zuverlässigen Technologie zu gewährleisten, um kostspielige Stillstandzeiten zu verhindern und konkurrenzfähige sowie hochwertige Endprodukte zu ermöglichen.



Prof. Dr. Steffen Nowotny

Abteilungsleiter Thermisches Beschichten
 Tel.: +49 351 83391-3241
 steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de



Dr. Maria Barbosa

Gruppenleiterin Thermisches Spritzen
 Tel.: +49 351 83391-3429
 maria.barbosa@iws.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. (FH) Holger Hillig

Gruppenleiter Auftragschweißen-
 Systemtechnik
 Tel.: +49 351 83391-3358
 holger.hillig@iws.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Sebastian Thieme

Gruppenleiter Laser-Draht-
 Beschichtungstechnik
 Tel.: +49 351 83391-3076
 sebastian.thieme@iws.fraunhofer.de



Dipl.-Phys. Marko Seifert

Abteilungsleiter Wärmebehandeln und
 Plattieren
 Tel.: +49 351 83391-3204
 marko.seifert@iws.fraunhofer.de



MATERIALEFFIZIENTES LASER-BAND-AUFTRAGSCHWEISSEN

Ein weiterer Beschichtungstyp ergänzt die diversen Spritz- und Schweißtechnologien beim Beschichten von großen zylinderförmigen Bauteilen. Bisher basieren diese für Walzen, Kolben oder Stangen vorwiegend auf draht- und pulverförmigen Zusatzwerkstoffen. Das Fraunhofer IWS entwickelte einen neuen Laser-Band-Bearbeitungskopf, der metallische Bänder mit gesteigerter Materialeffizienz und hoher Auftragsrate bearbeitet – bis zu einer Laserleistung von zehn Kilowatt.

Großflächenbeschichtungen zum Schutz und zur Funktionalisierung von tribologisch beanspruchten metallischen Oberflächen erfordern einen produktiven und langzeitstabilen Prozess. Im industriellen Einsatz befinden sich dazu bisher die Verfahren der Hartverchromung, des Thermischen Spritzens und des lichtbogenbasierten Auftragschweißens. Ebenso etablierte sich das Laser-Auftragschweißen mit pulverförmigen Schweißzusätzen überall dort in der Industrie, wo besondere Anforderungen an Korrosions- oder Verschleißbeständigkeit bestehen. Im Unterschied zu den lichtbogenbasierten Schweißverfahren sind Drähte und Bänder für den Großflächeneinsatz der Lasertechnik noch unerschlossen. Der Vorteil dieser endlosen Materialien liegt darin, dass diese während des Prozesses stets zu 100 Prozent ausgenutzt werden. Gleichzeitig gelangen währenddessen keine Pulverpartikel in die Fertigungsumgebung, sodass auch Bedienpersonal und Anlagentechnik lediglich einer geringen Gefährdung ausgesetzt sind. Der neu entwickelte Laserprozess bringt den Vorteil mit sich, dass anders als beim Unterpulver- und Elektroschlacke-Schweißen kein zusätzliches Pulver zur Abdeckung des Schmelzbades erforderlich ist. Beim neuen Prozess lassen sich die gleichen Standardschutzgase wie beim Lichtbogenschweißen mit Schutzgas einsetzen. Daraus resultieren weitere technologische und umweltrelevante Vorteile gegenüber der konventionellen Schweißtechnik. Die Bandwerkstoffe werden in großtechnischer Produktion handelsüblich in einer Dicke von 0,5 und einer Breite von 30 bis 120 Millimetern hergestellt. Die Wissenschaftler des Fraunhofer IWS führten die

Entwicklungen auf Basis der 30 Millimeter-Variante durch. Dafür legten sie ein passendes Optiksystm aus, das sich mit einem fasergekoppelten Hochleistungsdiolenlaser als Strahlquelle betreiben lässt. Der Bandbearbeitungskopf besteht aus einem funktionalen Systembaustein, auf den die Laseroptik, der Bandantrieb, die Medienzufuhr für Kühlung und Schutzgas sowie ein Crossjet zum Spritzerschutz installiert sind. Der Winkel zwischen Laserstrahl und Bandzufuhr lässt sich zwischen 20 und 70 Grad einstellen. Das Gesamtgewicht liegt bei 24 Kilogramm.

Neue flexible Prozessführung mit Band als Zusatzwerkstoff

Systematische Schweißversuche mit unterschiedlichen Designmustern ergaben, dass ein möglichst prozessnah angeordneter Antrieb sowie eine spielfreie, reibungsarme Führung die bestmögliche Dynamik der Bandzufuhr entfalten. Zudem wurde eine Auslenkmechanik eingebunden, um Beschädigungen am Bandbearbeitungskopf durch mögliche Prozessfehler oder Kollisionen zu vermeiden. Die Strahlformungseinheit besteht im Wesentlichen aus den Zwei-Zoll-Optikkomponenten Kollimation, Homogenisator und Fokussierung. Die Adaption der Laserfaser mit einer numerischen Apertur von 0,2 erfolgt über den bedienerfreundlichen Schnittstellentyp LLK-D und schafft somit eine Anbindung an aktuelle Hochleistungslaser. Der Homogenisator formt den runden Strahl zu einer linienförmigen Abbildung in der Fokusslage. Am Bauteil bildet sich in dieser Konfiguration



2

ein Laserspot von 36 mal 4 Quadratmillimetern aus. Diese Abmessung hat sich als besonders geeignet für Qualifizierungsschweißungen mit den untersuchten Bandwerkstoffen erwiesen. Es wurden Bänder aus der korrosionsbeständigen Nickellegierung Inconel 625 sowie Flachsubstrate aus unlegiertem Baustahl und Vollwellen aus Vergütungsstahl verwendet. Für einen stabilen Prozess bei einer Laserleistung von 9 Kilowatt ermittelte das Forscherteam eine Bandvorschubgeschwindigkeit von 0,8 Metern pro Minute bei einer Schweißgeschwindigkeit von 0,25 Metern pro Minute. Dabei erzielt das Laser-Band-Auftragsschweißen eine Auftragsrate von 6,1 Kilogramm pro Stunde bei einer Beschichtungsleistung von 0,44 Quadratmetern pro Stunde. Bei Einzelspuren liegen die Breite bei 34 und die Schichtdicke bei 1,8 Millimetern. Für Flächenbeschichtungen eignet sich in diesem Fall eine Überlappung der Spuren von 5,0 Millimetern, um die Schichtwelligkeit möglichst gering zu halten. Zum aktuellen Zeitpunkt der laufenden Projektarbeiten weisen die Parameter Einbrandtiefe, Wärmeeinflusszone sowie in der Anbindungszone vorliegende Mikroporen weiteres Optimierungspotenzial auf. Darüber hinaus bildet die Qualifizierung

systemtechnischer Komponenten wie Antriebseinheit, Schutzgasabschirmung und Strahlformung fortlaufend Entwicklungsschwerpunkte auf dem Weg zur Praxistauglichkeit von Technik und Prozess.

- 1 *Vollwelle und Flachsubstrat (v. l.) mit Überlappschweißungen aus der untersuchten Werkstoffkombination Inconel 625 auf Baustahl.*
- 2 *Der neu entwickelte Laser-Band-Bearbeitungskopf lässt sich an Industrieroboter anbringen und ermöglicht eine flexible sowie saubere Prozessführung zur Verarbeitung von Bandwerkstoffen.*

Querschnitt einer Einzelspur aus der Nickellegierung Inconel 625 auf Baustahl



Eine typische Schweißung mit dem neu entwickelten Laser-Band-Bearbeitungskopf weist eine eben ausgeprägte Oberflächenform mit gleichmäßig flach abfallenden Nahtflanken auf. Es entstehen keine inneren Schweißsporen oder -risse. Diese Eigenschaften eignen sich für großflächige Verschleißschutzschichten mit einer Dicke von mehr als einem Millimeter.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Sebastian Thieme

Laser-Draht-Beschichtungstechnik

☎ +49 351 83391-3076

✉ sebastian.thieme@ivs.fraunhofer.de



SUSPENSIONSSPRITZEN: »INDUSTRIE 4.0 READY«

Geringere Oberflächenrauheit und höhere Homogenität der Mikrostruktur – diese Merkmale unterscheiden suspensionsgespritzte von klassisch mit Pulver gespritzten Schichten. Das Fraunhofer IWS bietet die komplette Prozesskette von industrietauglichen Hardwarekomponenten bis hin zu maßgeschneiderten Beschichtungslösungen am Bauteil.

Das Suspensions-spritzen realisiert hochwertige, thermisch gespritzte Schichten. Als Spritzzusatz dienen Submikro- oder Nanopulver, die im Wasser oder in organischen Lösungsmitteln feindispersiert werden. Die Suspensionen lassen sich sowohl beim atmosphärischen Plasmaspritzen (APS) als auch beim Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) verwenden. Für die industrielle Anwendung im Dauerbetrieb gehören eine hohe Prozessstabilität und -sicherheit zu den entscheidenden Kriterien. Diese lassen sich nur dann erfüllen, wenn qualifizierte Systemtechnik in Form von anwenderspezifischen Hardwarekomponenten verwendet wird.

Suspensionsförderer als Basis für umweltfreundliche Digitalisierung von Beschichtungsprozessen

Forscher des Fraunhofer IWS Dresden entwickelten daher einen industrietauglichen Stand-alone-Suspensionsförderer. Dabei entstand ein »Drei-Druckbehälter-Konzept«, das es nicht nur erlaubt, konventionelle Beschichtungszusammensetzungen im Dauerbetrieb zu spritzen, sondern auch Multilayer- und Kompositschichten zu erzeugen. Das Wissenschaftlerteam integrierte industrielle Sensorik und Aktorik sowie intelligente Kaskadenregelungen und Datalog-Funktionen, um den Prozess automatisiert zu regeln und auszuwerten. Eine einfache Erkennung von Fehlerquellen und die Minimierung von Störeinflüssen legen die Basis für die Entwicklung innovativer Spritzstrategien. Außerdem gewährleisten sie eine erhöhte Prozesssicherheit und -reproduzierbarkeit. Damit schafft das Fraunhofer IWS

Suspensionsförderer auf Basis des »Drei-Druckbehälter-Konzepts«



die Voraussetzungen für die Digitalisierung der Prozesse mit dem Ziel selbstregelnder Prozessabläufe. Davon profitiert auch die Umwelt: So stellten die Forscher des IWS Korrosions- und Verschleißschutzschichten sowie Schichtlösungen für elektrische und thermische Isolation aus wässrigen und alkoholischen Suspensionen im industriellen Maßstab her. Die begleitenden Tests verliefen erfolgreich.

1 Hochgeschwindigkeitsflammspritzen mit Suspensionen.

KONTAKT

Dr. Filofteia-Laura Toma

Thermisches Spritzen

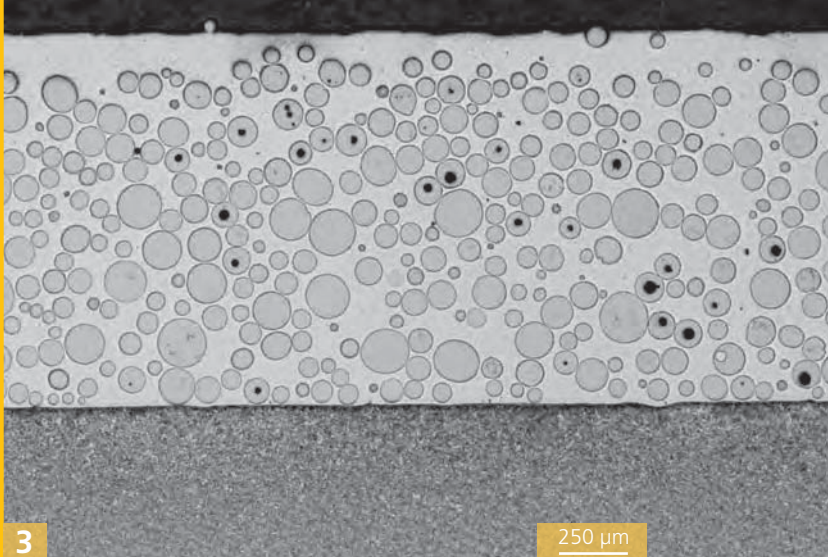
☎ +49 351 83391-3191

✉ filofteia-laura.toma@iws.fraunhofer.de





2



3

250 µm

REKORDVERDÄCHTIG: HOCHLEISTUNGS-AUFTRAGSCHWEISSEN GEGEN VERSCHLEISS

Um die volle Leistung neuer Hochleistungslaserstrahlquellen auch für das Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) nutzbar zu machen, hat das Fraunhofer IWS den Beschichtungsprozess mit Breitstrahlpulverdüsen entwickelt und für hartstoffhaltige Verschleißschutzbeschichtungen qualifiziert.

LPA ist ein industriell bereits etabliertes Beschichtungsverfahren für Korrosions- und Verschleißschutz. In der Industrie werden bisher meist nur Laserleistungen bis 8 Kilowatt genutzt, obwohl bereits Laser mit 20 Kilowatt und mehr verfügbar sind. Unter anderem begrenzt die im Laserspot herrschende Leistungsdichte beziehungsweise Intensität die für LPA-Prozesse nutzbare Leistung. Bei zu hoher Intensität treten unerwünschte Effekte wie etwa Schmelzbadüberhitzung, Verdampfungen und Porenbildung auf. Besonders kritisch ist dies beim Hartstoff-Binder-Schichtsystem »WSC-NiCrBSi«, bei dem Wolframschmelzkarbide (WSC) in eine Nickel-, Chrom-, Bor- und Silizium-Legierung (NiCrBSi) eingelagert werden. Bei zu hoher Intensität lösen sich die Karbide auf, wodurch die Verschleißfestigkeit sinkt und die sonst duktile Binderlegierung versprödet.

Höchste Laserleistungen bei niedriger Intensität

Forscher des Fraunhofer IWS haben nun einen neuen Breitstrahlbeschichtungskopf mit der Bezeichnung COAX11V6 entwickelt, der für rechteckige Laserspots von bis zu 45 Millimetern Breite ausgelegt ist. Durch die große Laserspotfläche ergibt sich selbst bei höchsten Laserleistungen eine niedrige Intensität von beispielsweise 7,5 Kilowatt pro Quadratzentimeter bei 20 Kilowatt. Dies erlaubt nun auch kritische Werkstoffsysteme wie WSC-NiCrBSi mit bemerkenswert hoher Auftragrate und extrem hoher Produktivität in sehr guter Qualität aufzuschweißen. So gelang es den Forschern des Fraunhofer IWS Dresden, eine 45 Millimeter breite WSC-NiCrBSi-Schweißraupe mit einer Auftragrate von 22 Kilogramm pro Stunde

herzustellen. Die Karbide in der Verschleißschutzschicht sind gleichmäßig verteilt und zeigen keine Auflösungserscheinung. Weiterhin ist der neu entwickelte Breitstrahlbearbeitungskopf auch für das Auftragschweißen von Korrosionsschutzschichten auf Nickel- oder Kobaltbasis geeignet und stellt so eine hochproduktive, wirtschaftliche und umweltschonende Alternative zu Hartchrom-Beschichtungen dar, zum Beispiel für die Beschichtung großer Hydraulikzylinder. Durch die Möglichkeit, 20 Kilowatt Laserleistung zu nutzen, ergeben sich auch hier enorm hohe Auftragraten und Beschichtungsleistungen. Ein zukünftiges Ziel besteht nun darin, neue Anwendung zu erschließen und auch die Werkstoffpalette auszuweiten, zum Beispiel für das Beschichten mit kupferbasierten Gleitlagerwerkstoffen.

- 2 LPA-Beschichtung eines Rohres mit 45 Millimetern Spurbreite und 20 Kilowatt Laserleistung.
- 3 Detailaufnahme eines Querschliffs: Die gleichmäßig eingelagerten Karbide weisen keine thermischen Zersetzungserscheinungen auf.

KONTAKT

Dipl.-Ing.(FH) Holger Hillig

Auftragschweißen-Systemtechnik

☎ +49 351 83391-3358

✉ holger.hillig@ivs.fraunhofer.de



GENERIEREN UND DRUCKEN



Geschäftsfeldleiter **Prof. Dr. Frank Brückner**

DAS GESCHÄFTSFELD

Lage für Lage formt das Geschäftsfeld Generieren und Drucken Werkstoffe für verschiedenste Anwendungszwecke. Aus Ausgangswerkstoffen wie Pulver, Drähte, Pasten oder Bänder entstehen komplette Bauteile. Hauptsächlich werden Metalle und Kunststoffe verarbeitet. Dabei wird zwischen Umschmelzen, Generieren und Drucken unterschieden. Ein besonderes Merkmal bildet die ausgeprägte Verfahrens- und Werkstoffkompetenz. Nur in der Kombination lassen sich komplexe neuartige Bauteile mittels additiver Fertigung herstellen, die einerseits kostengünstig und andererseits zuverlässig sind. Zum Einsatz kommen vielfältige Verfahren wie das Laserauftragschweißen mit Pulver, Elektronen- und Laserstrahl oder Hybridlösungen, die subtraktive mit additiven Methoden kombinieren. Dabei konzentrieren sich die Wissenschaftler am Fraunhofer IWS nicht ausschließlich auf den einzelnen Prozess, sondern erforschen und erarbeiten Lösungen entlang der Prozesskette. Gemeinsam mit dem industriellen Auftraggeber beschreiten sie den gesamten Weg von der Idee über die Machbarkeitsstudie und die Entwicklung der Systemtechnik bis hin zur kompletten Marktreife.



Dr. Elena López

Abteilungsleiterin Additive Fertigung
Tel.: +49 351 83391-3296
elena.lopez@iws.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. André Seidel

Gruppenleiter Hybridverfahren
Tel.: +49 351 83391-3854
andre.seidel@iws.fraunhofer.de



M.Sc. Lukas Stepien

Gruppenleiter Drucken
Tel.: +49 351 83391-3092
lukas.stepien@iws.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Mirko Riede

Gruppenleiter 3D-Generieren
Tel.: +49 351 83391-3188
mirko.riede@iws.fraunhofer.de



Prof. Dr. Karol Kozak

Gruppenleiter Bildverarbeitung und
Datenmanagement
Tel.: +49 351 83391-3717
karol.kozak@iws.fraunhofer.de

ATHENA GREIFT MIT ADDITIVER FERTIGUNG NACH DEN STERNEN

Das Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics (Athena) soll das heiße und energetische Universum erforschen. Die European Space Agency (ESA) hat bereits im Jahr 2013 das zugrundeliegende Missionskonzept als einen der dringendsten wissenschaftlichen Schwerpunkte für eine zukünftige große Weltraummission ausgewählt. Das Fraunhofer IWS liefert hierfür eines von drei Hauptbauteilen – eine optische Bank.

Wie bildeten sich die großräumigen Strukturen im Universum, wie sind Schwarze Löcher gewachsen und wie prägten sie das Universum? Athena soll helfen diese Fragen durch die Kombination von orts aufgelöster Röntgenspektroskopie mit tiefen, großflächigen und energie aufgelösten Röntgenaufnahmen zu beantworten. Die Leistung des Teleskops soll dabei weit über das hinausgehen, was vorhandene Röntgen-Observatorien leisten können. Eine spezielle optische Bank gehört zu den drei Hauptbauteilen des Teleskops. Neben einer Instrumentenplattform und einem Spiegelmodul soll diese 1062 Silizium-Optiken tragen und sich ausfahren lassen.

Optische Bank in hybrider Fertigung

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik stellt die optische Bank mittels einer hybriden Fertigungsstrategie her, die das Laser-Pulver-Auftragschweißen und die Präzisionszerspanung kombiniert. Dieser Ansatz ist einer der Forschungsschwerpunkte der am »Zentrum für Additive Fertigung Dresden« (AMCD) tätigen Arbeitsgruppe Hybridverfahren. Sie beschäftigt sich speziell mit der kombinierten Anwendung innovativer Fertigungsstrategien. Die Bedeutung dieses Vorhabens beschreibt Dr. Johannes Gumpinger, zuständiger Entwicklungsingenieur der Europäischen Weltraumorganisation: »Für die Entwicklung zukünftiger Satelliten und Trägerraketen sind wir ständig auf der Suche nach Fertigungsprozessen, welche die Designfreiheiten erhöhen, Leistungssteigerungen ermöglichen, sowie Kosten und Lieferzeiten reduzieren. Dies ist durch das 'Advanced

Additiver Fertigungsprozess der optischen Bank



Roboter tragen die optische Bank schichtweise bis zu einer maximalen Höhe von 300 Millimetern auf. Möglich wird die Herstellung des Großbauteils erst durch ihren Aktionsradius.

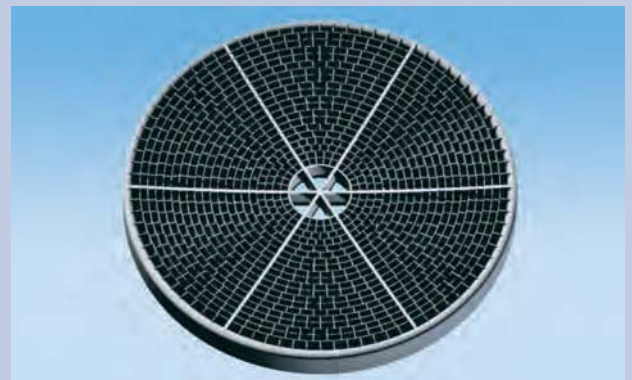


Illustration einer ausfahrbaren optischen Bank (Durchmesser: 3 Meter; Höhe: 30 Zentimeter). In jede der 1077 Taschen wird eine Silizium-Poren-Optik (SPO) installiert.



THE ATHENA MISSION

1

Manufacturing Programm' bei der ESA nun etabliert. Additive Manufacturing erfüllt die zuvor genannten Kriterien und wird aus diesem Grund als äußerst vielversprechende Fertigungsmethode angesehen.« Die Technologie verfüge nicht nur über das Potenzial das Design einzelner Bauteile, sondern kurzfristig auch gesamte Raumfahrzeuge zu revolutionieren. Die ESA untersucht additive Fertigungsverfahren für kleine bis mittlere Abmessungen, aber auch bis hin zu mehreren Metern. Die für die ATHENA-Mission essenzielle optische Bank weist bei einer Höhe von 30 Zentimetern einen Durchmesser von drei Metern auf, wodurch die Auswahl des Herstellungsverfahrens deutlich eingeschränkt ist. Gumpinger fügt hinzu: »Das beim Fraunhofer IWS entwickelte, roboterbasierende Laser-Pulver-Auftragschweißen in Kombination mit Präzisionsfräsen zählt zur Familie der additiven Fertigungsverfahren und wir sehen es als äußerst vielversprechend an, um das Vorhaben zu realisieren.«

Das Ziel vor Augen

Die Herstellung eines komplexen Großbauteils mittels additiver Hybrid-Technologie erfordert höchste Ansprüche an die Produktionstechnik. In einer intensiven Analysephase wurden zunächst der eingesetzte Hochleistungswerkstoff, die notwendige geometrische Präzision und die erforderliche Produktivität integrativ betrachtet und eine maßgeschneiderte Fertigungszelle abgeleitet. Diese vereinigt modernste Systemtechnik aus generativem Laser-Auftragschweißen, Hochleistungszerspanung, taktiler und optischer Messtechnik sowie intelligenter Prozessüberwachung und Regelung. Als Schnittstelle agiert ein Handhabungssystem, das zwei hochpräzise Multi-Achs-Roboter und einen NC-Drehtisch mit einem Durchmesser von 3,4 Metern verbindet. Bei der Realisierung des hybriden Fertigungssystems wurden das generative Laser-Pulver-Auftragschweißen und die

kryogene Hochleistungszerspanung erstmalig in einer Anlage kombiniert. Diese ermöglicht die essentielle Zwischenbearbeitung des Bauteils mittels Fräsen ohne die Oberfläche zu verschmutzen. Dies erschließt ein Maximum an Gestaltungsfreiheit und die Möglichkeit der Funktionsintegration in völlig neuartiger Weise. Durch diese Entwicklungen wird am Fraunhofer IWS ein entscheidender Beitrag geleistet, um das ambitionierte Vorhaben Wirklichkeit werden zu lassen. Im nächsten Schritt wird eine umfangreiche Testkampagne zur Bestimmung der Materialeigenschaften durchgeführt.

1 Illustration zur Athena Mission der ESA.

KONTAKT

Dipl.-Ing. André Seidel

Hybridverfahren

+49 351 83391-3854

andre.seidel@iws.fraunhofer.de



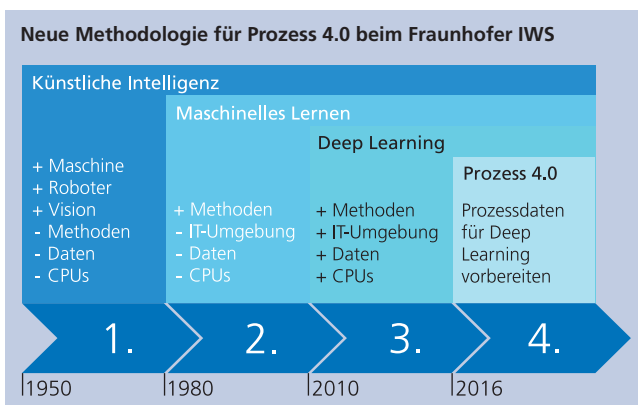
»LASERPROZESSE 4.0«: SOFTWARE UND STEUERUNG

Im »Kompetenzzentrum Datenmanagement« erforschen Wissenschaftler des Fraunhofer IWS und der TU Dresden die Verknüpfung von Steuerung, Software und maschinellem Lernen. Ziel ist es, intelligente Laserprozesse zu schaffen, die sich für Anwendungen auf dem Gebiet »Industrie 4.0« eignen.

Das Kompetenzzentrum Datenmanagement ist eine Kooperation mit der TU Dresden und dem Universitätsklinikum Dresden. Gemeinsam entwickeln die Partner interaktive Datenbanksysteme und Methoden zur Bearbeitung großer Datenmengen. Im Fokus stehen Forschungs-, Sensor-, Patienten- und digitale Bilddaten sowie Prozessparameter. Forschung und Entwicklung reichen von der Sensorik, Statistik, maschineller Mustererkennung und Bildakquisition über die Bildverarbeitung, Modellierung und Visualisierung bis hin zum Bedieneroberflächen- und Applikationsdesign. Datenmanagement und der verantwortungsvolle Umgang mit Daten sind ebenso wichtige Themen bei Laserprozessen. Digitale Zwillinge verbinden Prozesse, Produkte, Betriebsmittel und Beschäftigte – kommuniziert wird via Internet. Der Begriff »Big Data« beschreibt den Umgang mit Datenstrukturen, die in ihrer Größe, Diversität und Komplexität neue Datenverarbeitungs- und Analysetechniken erfordern, um daraus verborgenes Wissen zu gewinnen. Dieses Wissen findet dann wiederum Eingang in Prozesse, sodass maschinelles oder

tiefgehendes Lernen möglich wird. Solche Lösungen für den »Prozess 4.0« werden am Fraunhofer IWS Dresden im Laborbetrieb erprobt. Das Kompetenzprofil der Gruppe Bildverarbeitung und Datenmanagement des Fraunhofer IWS umfasst die folgenden Lösungen:

- Prozessdatenbank für Verfolgung und Monitoring von laserbasierten Prozessen
- Entwicklung von Bilddatenbanken und Technologien für Prozessdatenmanagement
- Bildverarbeitung und interaktive Visualisierung von Prozessdaten: Härten, Schneiden und Schweißen für das Echtzeit-Prozessmonitoring
- »Human Machine Interfaces« (HMI) und Softwarelösungen für die Steuerung und Überwachung von IWS-Systemtechnik
- Big Data-Lösungen für SPS als Schlüssel zu mehr Produktivität und Effizienz in der Produktion
- »Process Data Analyser«: Auswertung und Visualisierung aller SPS- und Sensorikwerte
- Professionelle Softwareentwicklung und Beratung für effiziente Anlagenintegration
- Forschen an Industrie-4.0-Technologien für Prozessdatenmanagement



KONTAKT

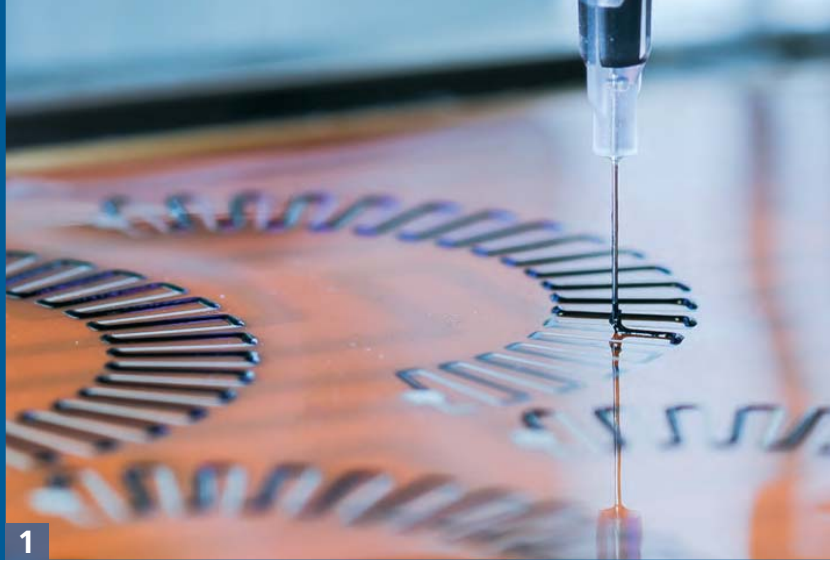
Prof. Dr. Karol Kozak

Bildverarbeitung und Datenmanagement

+49 351 83391-3717

karol.kozak@iws.fraunhofer.de





1

ABWÄRME MIT ADDITIV GEFERTIGTEN TEG NUTZEN

Das Fraunhofer IWS baut thermoelektrische Generatoren (TEG) und Peltierelemente mit additiven Fertigungstechniken auf. Die dafür notwendigen Materialien sowie das nachgeschaltete Mess- und Kommunikationssystem entwickelt es gleich mit.

Das Prinzip des Thermoelektrischen Energy Harvesting besteht durch seine Einfachheit: Dank des Seebeck-Effekts reicht es aus, ein Peltierelement auf eine Heizung zu legen, um über die beiden Elektroden Strom fließen zu lassen. So lassen sich auch ungenutzte Abwärmepotenziale heben. Unterschiedlichen Studien zufolge ist ungenutzte Abwärme immerhin für 18 bis 36 Prozent des Energieverbrauchs in Unternehmen verantwortlich. Auch Kühlung ist mit den gleichen Bauelementen durch Stromanlegen möglich. Warum aber existieren noch immer kaum Anwendungsbeispiele für thermoelektrische Generatoren zur Abwärmenutzung? Die Gründe können vielfältig sein:

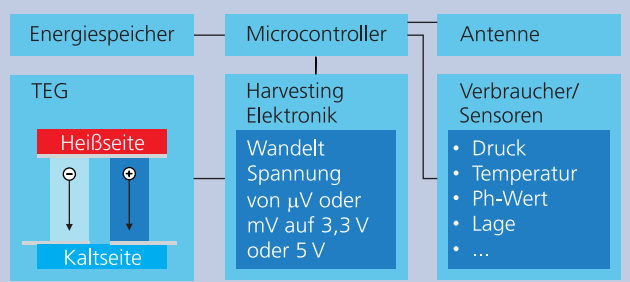
- Die Eigenschaften des Materials sind unzureichend.
- Der Generator ist starr, während flexible oder zumindest rohrförmige Konturen benötigt werden.
- Es bestehen fertigungsbedingte Engpässe bei der Lieferung.
- Die systematische Betrachtung zum sinnvollen Einsatz der Technologie und eine Abschätzung der zu erwartenden Energie fehlen.

Maximale Freiheit im Design von thermoelektrischen Generatoren

Damit sich thermoelektrische Generatoren auf individuelle Anwendungsfälle anpassen lassen, entwickelt das Fraunhofer IWS additive Herstellungsprozesse und Materialien für diesen speziellen Zweck. Zuletzt gelang es den Powerfaktor von gedrucktem Bismutellurid um 100 Prozent zu steigern. Er beschreibt das Produkt aus elektrischer Leitfähigkeit und quadratischem Seebeck-Koeffizient und ist ein guter Indikator für die Materialgüte. Auch die Energiekonditionierung, -speicherung und -verwendung für den Betrieb von Sensoren realisierten die Wissenschaftler mit angepasster Elektronik. So reicht ein Wärmeunterschied von vier Kelvin aus, um Luftdruck- und Temperaturmesswerte 150 Mal pro Stunde an eine acht Meter entfernte Empfangsstation zu senden. Ein solches System entfaltet das Potenzial zur Rückgewinnung kleiner Energiemengen, beispielsweise für autonome Sensornetzwerke. Der Überblick über Material-, System und Prozesstechnik ist beim Auslegen thermoelektrischer Systeme essenziell. Das Fraunhofer IWS bietet diese Leistungen aus einer Hand.

1 Aufbau von thermoelektrischen Generatoren durch Dispensen.

Schema eines autarken Sensors mit Stromversorgung durch ein TEG



KONTAKT

Dipl.-Ing. Moritz Greifzu

Drucken

+49 351 83391-3606

moritz.greifzu@iws.fraunhofer.de



MASSGESCHNEIDERT: LASER-PULVER-AUF-TRAGSCHWEISSEN MIT 3D-MULTIMATERIAL

Additiv-generative Fertigungsprozesse etablieren sich in der Industrie. Das eröffnet zahlreiche Möglichkeiten, bestehende Konstruktionen hinsichtlich Leichtbau, Funktionsoptimierung und Kostenreduzierung weiterzuentwickeln. Insbesondere das Verarbeiten verschiedenster Materialien mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen ermöglicht es, maßgeschneiderte hocheffiziente Bauteile zu generieren.

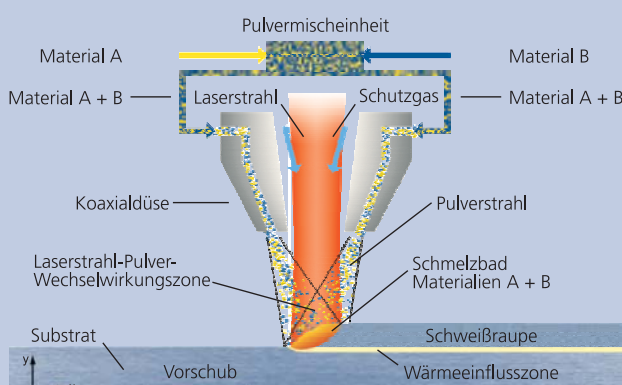
Die zunehmende Komplexität industrieller Anwendungen stellt wachsende Anforderungen an Bauteile und deren Eigenschaften. Ein Werkstoff allein kann diese oftmals nicht bedienen, sodass die Kombination verschiedenster Materialien, der sogenannte »Multimaterialansatz«, unumgänglich ist. Die Forscher des Fraunhofer IWS haben das additiv-generative Fertigungsverfahren des Laser-Pulver-Auftragschweißen als prädestinierten Prozess für diese Anwendung identifiziert. Mittels eigens entwickelter Systemtechnik sind sie in der Lage, bis zu vier verschiedene Materialien zeitgleich zu verarbeiten. Die unterschiedlichen pulverförmigen Grundwerkstoffe führen sie dafür entsprechend

der gewünschten Materialzusammensetzung über eine Pulvermischeinheit der Prozesszone zu. In dieser wird mittels Laser ein schmelzmetallurgischer Verbund generiert, wodurch sich die Materialeigenschaften orts aufgelöst an die Bauteilanforderungen anpassen lassen.

3D-Übergang von Stahl- zu Nickel-Basis-Superlegierung ermöglicht

Die Ingenieure des Fraunhofer IWS waren bereits in der Lage, diesen Verfahrensansatz für ein breites Spektrum von Materialien und Anwendungen zu applizieren. Ausgehend von einer nicht-rostenden Stahllegierung generierten sie beispielsweise einen graduellen, dreidimensionalen Übergang zu einer hochwarmfesten Nickel-Basis-Superlegierung. Ein Einsatz im Energiesektor ist denkbar. Der graduelle Materialübergang ermöglicht die Eliminierung mechanischer und thermophysikalischer Unstetigkeiten und die Reduzierung auftretender Spannungen innerhalb der Fügezone. Weitere Anwendungsfelder stellen die kombinierte Verarbeitung hochfester Stahl- und gut leitfähiger Kupferlegierungen sowie die Infiltration einer metallischen Matrix mit keramischen Hartstoffen dar.

Prozesskopf und Verfahrensprinzip für das Multi-Material-Laser-Pulver-Auftragschweißen



Mittels der Powder Mixing-Unit werden mehrere Materialien der Prozesszone zugeführt, dort mittels Laser vorgewärmt und anschließend vom Schmelzbad absorbiert. Dies ermöglicht das Generieren dreidimensionaler Materialübergänge, gradierter Werkstoffe oder sogar die Fertigung von Metall-Keramik-Verbundwerkstoffen.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Michael Müller

3D-Generieren

+49 351 83391-3851

michael.mueller@iws.fraunhofer.de

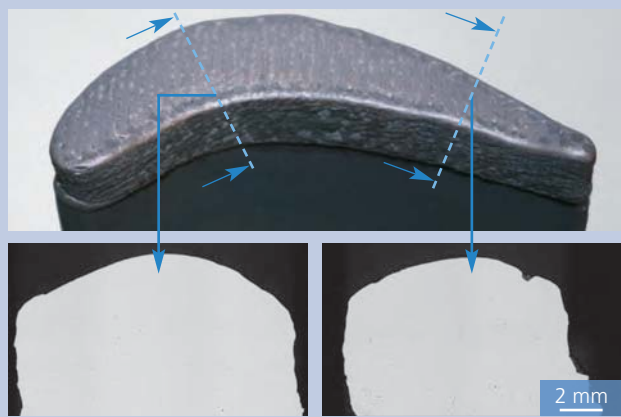


KLEINE PROZESSFENSTER, GROSSE PERFORMANCE

Bei Superlegierungen handelt es sich um Hochleistungswerkstoffe, die auch in oxidierender Atmosphäre Einsatztemperaturen von über 1000 Grad Celsius ermöglichen. Dabei zeigen sie über längere Zeiträume hohe Festigkeiten sowie geringe Formänderungen. Ermöglicht werden diese Eigenschaften durch die Ausscheidung einer Härtingsphase, deren Anteil am Volumen bis zu 75 Prozent betragen kann.

Superlegierungen gelten aufgrund ihrer komplexen Legierungszusammensetzungen als konventionell nicht schweißbar. Zur Bildung der Ausscheidungsphase werden dem Basiselement, zum Beispiel Nickel, weitere Elemente wie Aluminium, Titan, Tantal, Molybdän und/oder Wolfram hinzugefügt. In der Praxis führt das häufig zur Einschränkung der Schweißbarkeit. Die Folge ist häufig eine ausgeprägte Neigung zu Rissen, die mit dem Anteil von vorhandener Ausscheidungsphase zunimmt. Bei der Rissbildungsart unterscheidet man vorrangig zwischen Heiß- und Kaltrissen. Die genaue Erschließung der Risscharakteristik erfordert in vielen Fällen die ganzheitliche und wechselseitige Betrachtung der eingesetzten Werkstoffe, des Fügeverfahrens und der Art der Prozessführung. Diese Korrelation erforscht die Fraunhofer-IWS-Arbeitsgruppe Hybridverfahren intensiv.

Nachweis der defektfreien Schweißbarkeit einer Superlegierung



Defektfreie und endkonturnahe Verarbeitung

Ziel ist die Identifikation zum Teil kleinster Prozessfenster, die eine defektfreie Verarbeitung dieser riss sensitiven Materialien ermöglichen. Auf dieser Grundlage entwickeln die Forscher maßgeschneiderte Lösungen. Eine repräsentative Anwendung stellt die Aufarbeitung verschlissener Turbinenteile dar, die aufgrund des hohen Kostenfaktors dieser Bauteile eine beträchtliche wirtschaftliche Bedeutung für Unternehmen bedeuten kann. Beispielhaft sei hier die Reparatur von Turbinenschaufeln genannt. In einer konkreten Anwendung wies das IWS bereits die defektfreie und endkonturnahe Verarbeitung der als nicht schweißbar geltenden Nickelbasis-Superlegierung CM 247 LC mittels des hybriden Laser-Pulver-Auftragschweißens nach. Die erzielten Forschungsergebnisse werden im nächsten Schritt auf komplexe dreidimensionale Strukturen übertragen. Dies bietet ein hohes Potenzial für die Fertigung und Reparatur hochbeanspruchter sowie komplexer Bauteile und erschließt gleichzeitig die zeit- und ressourceneffiziente Herstellung.

KONTAKT

Dipl.-Ing. André Seidel

Hybridverfahren

+49 351 83391-3854

andre.seidel@iws.fraunhofer.de





Geschäftsfeldleiter **Dr. Jens Standfuß**

DAS GESCHÄFTSFELD

Lösungen komplett aus einer Hand bietet das Geschäftsfeld Fügen. Ausgestattet mit fundiertem werkstofftechnischem Fachwissen bilden die Forscher eine komplexe Prozesskette ab: von der Analyse des Werkstoffverhaltens, über die Verfahrensentwicklung bis hin zur Umsetzung in maschinentechnischen Lösungen. Das Geschäftsfeld entwickelt angepasste Fügetechnologien und begleitet diese bis in die industrielle Anwendung. Das Laserstrahlschweißen ermöglicht es, fehlerfreie Schweißverbindungen aus risskritischen Werkstoffen herzustellen. Für stoffschlüssiges Fügen moderner Funktionswerkstoffe und metallischer Verbindungen werden Verfahren wie das Rührreibschweißen und das elektromagnetische Pulsfügen weiterentwickelt. Moderne Labore und effiziente Anlagentechnik stehen für die Entwicklung von Technologien des Klebens und der Faserverbundtechnik zur Verfügung. In der Bauteilauslegung erstellt das Geschäftsfeld Fügen strukturmechanische Finite-Elemente-Simulationen sowie thermisch-mechanisch gekoppelte Berechnungen und verifiziert diese im Experiment. Abgerundet wird das Portfolio von der Entwicklung individuell angepasster Systemtechnik.



Dr. Axel Jahn

Abteilungsleiter Laserstrahlfügen

Tel.: +49 351 83391-3237

axel.jahn@iws.fraunhofer.de



Dr. Dirk Dittrich

Gruppenleiter Laserstrahlschweißen

Tel.: +49 351 83391-3228

dirk.dittrich@iws.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Annett Klotzbach

Gruppenleiterin Kleben und
Faserverbundtechnik

Tel.: +49 351 83391-3235

annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de



Dr. Sebastian Schulze

Gruppenleiter Sonderfügeverfahren

Tel.: +49 351 83391-3565

sebastian.schulze@iws.fraunhofer.de



KLEBEN OHNE KLEBSTOFF – DIREKTFÜGEN VON METALL UND THERMOPLAST

Das Verfahren des thermischen Direktfügens ermöglicht das schnelle stoffschlüssige Fügen von thermoplastischen Bauteilen mit Metall. Laserstrukturiert wird es mit dem Kunststoff verpresst und dabei lokal erwärmt. Durch Wärmeleitung schmilzt der Thermoplast, dringt in die Strukturen ein und haftet an der Oberfläche. Somit lässt sich eine Verbindung innerhalb weniger Sekunden realisieren.

Moderner Leichtbau erfordert häufig die Kombination von Metall und faserverstärkten oder -unverstärkten Kunststoffen. Dazu sind effiziente Prozessketten erforderlich, bei denen – abgestimmt auf den konkreten Lastfall – eine optimierte Vorbehandlungs- und Füge-technologie sowie angepasste Werkzeuge zur Prozesssimulation und Eigenschaftscharakterisierung zum Einsatz kommen. Die Forscher des Fraunhofer IWS haben sich deshalb zum Ziel gesetzt, produktive Lösungen zum stoff- und formschlüssigen Fügen zu erarbeiten. Dabei führten sie die langjährigen Erkenntnisse der allgemeinen Klebtechnik und moderne systemtechnische Entwicklungen auf dem Gebiet der Laser-Remotetechnologie zusammen.

Auf die Vorbehandlung kommt es an

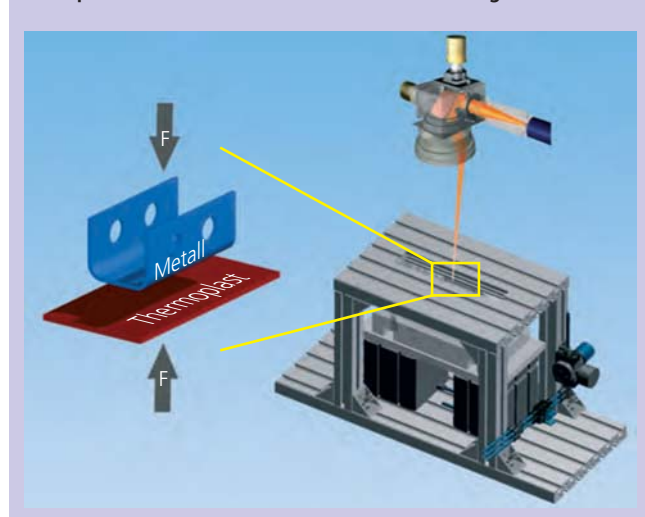
Da Thermoplast und Metall sehr unterschiedliche physikalische Eigenschaften besitzen (wie etwa Schmelztemperatur oder Wärmeausdehnungskoeffizient) kommt der Optimierung der Adhäsion zwischen beiden Fügepartnern eine herausragende Bedeutung zu. Deshalb entwickelten die Forscher einen Laserabtragprozess, der Strukturiefen von 100 Mikrometern und mehr erzeugt. Kontinuierlich strahlende Hochleistungslaser werden über eine Remote- beziehungsweise Scanneroptik auf das Metall fokussiert und dabei schnell abgelenkt. Dieser Prozess reinigt die Oberfläche von anhaftenden oder in der Grenzschicht befindlichen Verschmutzungen. Gleichzeitig sorgt die entstandene Topologie dafür, dass sich später eindringender Kunststoff über einen Formschluss in Hinterschnidungen verankern lässt.

Ein weiterer Vorteil neben der Möglichkeit einer lokalen Vorbehandlung mittels Laserstrahlung besteht darin, dass eine chemische Reinigung durch Lösungsmittel oder Beizbäder entfallen kann.

Schnelle Wärme durch Laser oder Induktion

Der eigentliche Verbindungsprozess gestaltet sich simpel: Der vorstrukturierte metallische Fügepartner wird mit dem Thermoplast verpresst. Gleichzeitig wird das Metall in der Fügezone erwärmt, sodass an der Schnittstelle die Schmelztemperatur des Thermoplastes erreicht wird. Je höher der erzeugte Temperaturgradient im Metall, desto geringer sind die Verluste durch

Prinzip des laserinduzierten thermischen Direktfügens

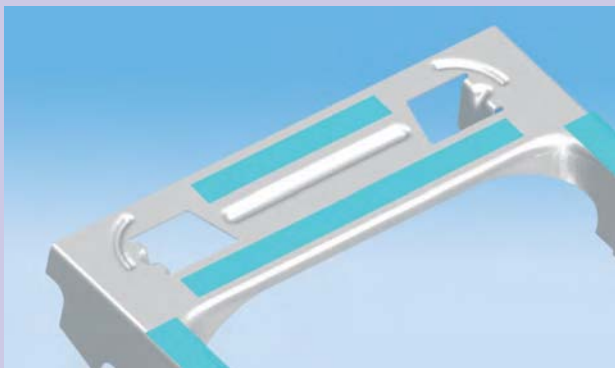


Wärmeleitung während des Prozesses. Eine besondere Herausforderung besteht in der gleichmäßigen Erwärmung der metallischen Fügepartner. Der Einsatz einer zweidimensionalen Laserstrahloszillation ermöglicht es, den Strahl gut steuerbar und dynamisch zu formen. Lässt sich das Metall nicht mittels Laserstrahlung direkt erwärmen, so erzeugt ein aufgebracht Magnetfeld Wirbelströme im Metall, deren Verluste zur schnellen Temperaturänderung führen. Besonders anspruchsvoll gestaltet es sich dabei, den Induktor an die Fügestellen angepasst auszuliegen.

Simulationsumgebung optimiert Erwärmungsprozess

Um das Technologie-Grundprinzip auf reale Bauteilkonstruktionen zeiteffizient zu übertragen, entwickelte das Forscherteam Erwärmungssimulations- sowie Prozess- und Bahnplanungstools. Mit der Simulationsumgebung »COMSOL« wird der Erwärmungsprozess des metallischen Fügepartners optimiert. Außerdem bietet sie die Möglichkeit, die Induktoren konturangepasst auszuliegen. Auch für den Laserstrukturierprozess entstehen beim Einsatz eines »CAD/CAM«-Systems Vorteile. So werden aus einer Datenbank materialspezifische Prozessparametersätze ausgewählt und auf die zu strukturierenden Flächen appliziert. Das CAD/CAM-Programmierwerkzeug generiert dann die NC-Programme sowohl für die Remoteoptik als auch das Maschinenachssystem.

Bahnplanung zur lokalen Laserstrukturierung



Gemeinsam mit Industrie- und Forschungspartnern evaluierte das Fraunhofer IWS Dresden das entwickelte Verfahren anhand eines komplexen Technologiedemonstrators. Dabei ersetzen die Forscher eine reine Schweißbaugruppe aus Baustahl durch ein Multimaterialdesign aus Organoblech und metallischem Deckblech, um ein mögliches Leichtbaupotenzial aufzuzeigen. Neben dem thermischen Direktfügen wurden auch formschlüssige Verbindungen im Steg-Schlitz-Design zwischen Metall und Organoblech erzeugt. Als Eingangsdaten zur konstruktiven Bauteilauslegung ermittelten die Wissenschaftler in Grundsatzuntersuchungen die Übertragungsfestigkeiten unter verschiedenen Belastungsregimen und erstellten die entsprechenden Materialkarten. Nach Bauteilauslegung und Definition der Fügestellendesigns wurde die Bahnplanung für das Laserstrukturieren durchgeführt. Ergänzend dazu nutzen die Forscher die Simulationsumgebung zur Optimierung des Erwärmungsprozesses. Eine Vielzahl von Testdemonstratoren wurde hergestellt und erfolgreich mechanisch geprüft. Der umgesetzte Prozess des thermischen Direktfügens zeichnet sich durch geringe Prozesszeiten, robuste Prozessführung und gute Automatisierbarkeit aus. Außerdem leistet die Laseroberflächenvorbehandlung einen Beitrag zum Umweltschutz, da auf chemische Ätzbäder oder Laugen verzichtet werden kann. Der Prozess eignet sich insbesondere für Anwendungen, bei denen komplexe Faserverbundbauteile mit Metallkonstruktionen verbunden werden sollen.

1 Umgeformte Organoblech-Schale (rechts), Stützstruktur für PKW-Mittelarmlehne sowie Deckblech.

Gefördert vom



FKZ: 13N12878

KONTAKT

Dipl.-Ing. Annett Klotzbach
Kleben und Faserverbundtechnik

☎ +49 351 83391-3235

✉ annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de





1

MUVAX FERTIGT FLUGZEUGKOMPONENTEN EFFIZIENTER

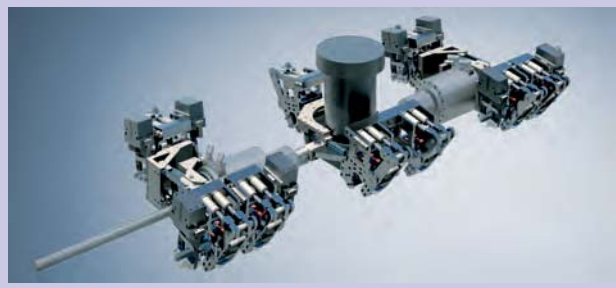
Das Rührreibschweißen gilt aufgrund seiner Vorteile gegenüber dem Nietverfahren als Alternativtechnologie bei der Montage von Flugzeugrumpfschalen. Die Herausforderung besteht in der Entwicklung von Anlagensystemen und Prozessen, die den Bauteilgrößen und den Schweißprozesskräften Rechnung tragen. Das Fraunhofer IWS Dresden entwickelte dafür das System »Multi Use Vacuum Assisted Exoskeleton« (MUVAX).

Metallische Flugzeugrumpfschalen werden in der Montage bisher mit dem erprobten Nietverfahren gefügt. Dieses erfordert eine Vielzahl von Prozessschritten, die hohe Fertigungszeiten und -kosten verursachen. Zudem ist ein Überlappstoß notwendig, der in der Fügezone einen erhöhten Materialeinsatz verursacht. Die bestehende hohe Nachfrage an neuen Passagierflugzeugen erfordert effizientere Fertigungsmethoden. Das Rührreibschweißen könnte die Fertigungseffizienz in der Luftfahrzeugfertigung deutlich steigern und gleichzeitig das Flugzeugstrukturgewicht senken.

Schweißen und Fräsen in Kombination

Das Verfahren erfordert keinen Überlappstoß und es sind weniger Prozessschritte notwendig. Jedoch ist eine angepasste Anlagentechnik notwendig, um die bis zu zwölf Meter langen Großkomponenten sicher schweißen zu können. Hierfür wurde am Fraunhofer IWS das MUVAX-System entwickelt. MUVAX besteht aus einem kombinierten Schweiß- und Fräsroboter und einem vakuumbasierten Spannsystem. Aufbauend auf einem ersten Labordemonstrator ermöglicht das neue MUVAX das Rührreibschweißen von Demonstratorbauteilen im Maßstab realer Flugzeugstrukturbauteile. Das Bearbeitungskonzept sieht vor, die Bauteile sicher zu fixieren und deren Kanten im Nahtbereich auf das für den Schweißprozess definierte Sollmaß zu fräsen. In dieser Aufspannung erfolgt anschließend der Rührreibschweißprozess. Dabei werden alle Prozessschritte mit einem unikalen Schweiß- und Fräsroboter ausgeführt. Die Entwicklung

Unikaler Schweiß- und Fräsroboter



des MUVAX-Systems stellt einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur Einführung des Rührreibschweißens in den Flugzeugbau dar.

1 Die MUVAX Systemtechnik ermöglicht das Rührreibschweißen von Demonstratorbauteilen.

Gefördert vom



FKZ: 20W1302C

KONTAKT

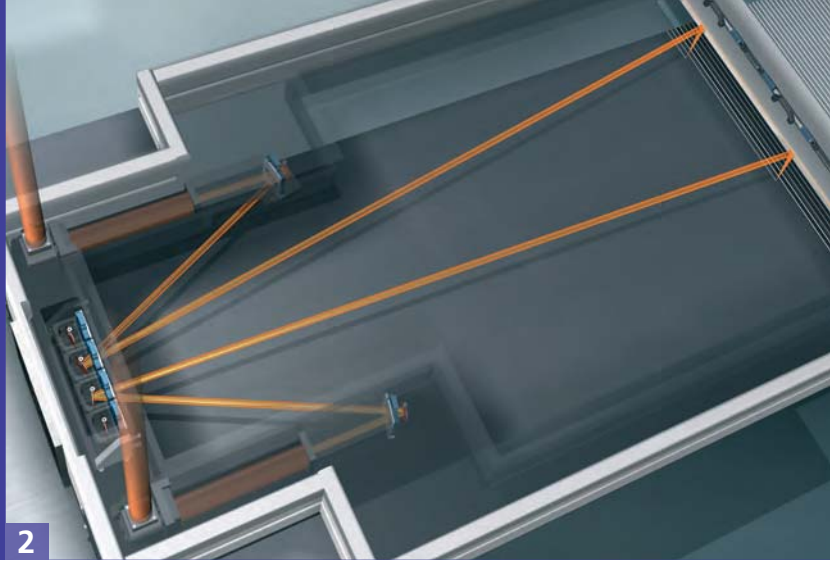
Dr. Sebastian Schulze

Sonderfügeverfahren

+49 351 83391-3565

sebastian.schulze@iws.fraunhofer.de





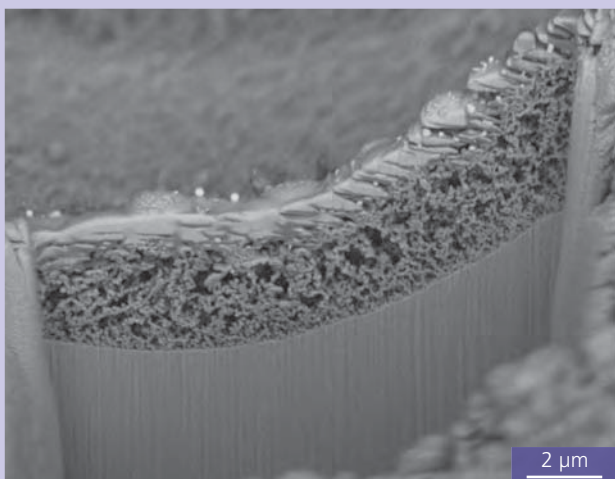
LASERSTRUKTUREN FÜR EINE SAUBERE UMWELT

Für das flächige Verkleben von Metallen mit faserverstärkten Kunststoffen hat das Fraunhofer IWS ein Laserstrukturierungsverfahren entwickelt, das die chemische Badvorbehandlung ersetzen kann. Der Laserstrahl reinigt Aluminiumbleche, strukturiert diese und erzeugt eine stärkere künstliche Oxidschicht. Die Prüfergebnisse zeigen eine gute Haftfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

Verbundlaminate aus Metall und faserverstärkten Kunststoffen gelten als Leichtbauwerkstoff mit großem Zukunftspotenzial. Gegenüber reinen Metallen bieten solche Materialien neben der Gewichtseinsparung auch ein verbessertes Durchbrand- sowie Einschlagverhalten und aufgrund der verzögerten Rissausbreitung ein verbessertes Ermüdungsverhalten. Die Herstellung ist jedoch bisher sehr aufwändig. So durchlaufen die Aluminiumbleche zum Reinigen und Vorbehandeln chemische Bäder. Dies ist langwierig und ökologisch bedenklich. Der Lösungsansatz des Fraunhofer IWS zur produktiven Herstellung ist die Vorbehandlung der Klebeflächen mittels Laserstrahlung. Für den Materialabtrag kommen bisher gepulste Lasersysteme zum Einsatz. Die Herausforderung bestand jedoch in der Strukturierung von

mehreren Quadratmetern Oberfläche. Deshalb wurden ein leistungsstarker kontinuierlich emittierender Festkörperlaser und die Remotetechnologie eingesetzt. Mit präziser Bündelung der Laserstrahlen und gleichzeitig schneller Spotbewegung kann ein reproduzierbarer Materialabtrag entstehen. Um eine hohe Produktivität zu erzielen, bewegt sich der Laserspot mit bis zu 300 Metern pro Sekunde linienförmig über die Oberfläche. So erreicht das Fraunhofer IWS Flächenraten von aktuell einem Quadratmeter pro Minute. Die auf den Aluminiumoberflächen erzeugten Strukturiefen von circa 10 Mikrometern ermöglichen eine optimale Adhäsion zum Klebefilm. Das Forscherteam wies nach, dass die native poröse Oxidschicht entfernt wird und gleichzeitig eine homogene Grenzschicht mit deutlich verbesserten Korrosionsschutzeigenschaften entsteht. Es kann deshalb auf eine chemische Vorbehandlung der Bleche verzichtet werden.

Focused Ion Beam (FIB) – Schnitt der Aluminiumoxidschicht



2 Prinzip der schnellen Strahlablenkung mittels Scannertechnologie.

Gefördert vom



FKZ: 20W1517D

KONTAKT

Dipl.-Ing. Annett Klotzbach
Kleben und Faserverbundtechnik

+49 351 83391-3235

annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de



ENTWICKLUNGSLÖSUNGEN FÜR DEN ANTRIEBSSTRANG

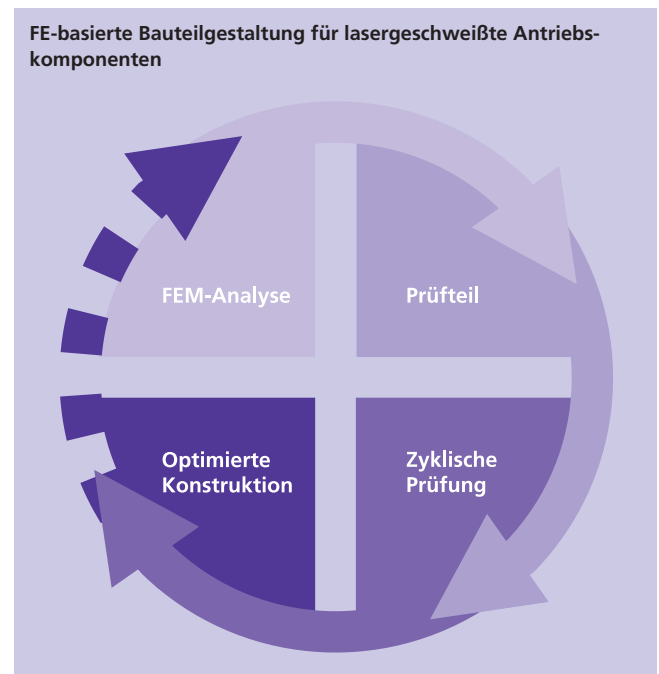
Absolute Voraussetzung für die Entwicklung moderner Antriebssysteme ist es, Bauteile belastungs- und verfahrensgerecht zu konstruieren. Am Fraunhofer IWS wurde dazu eine Methode zur experimentell gestützten Bauteilauslegung für laserstrahlgeschweißte Antriebskomponenten entwickelt.

Die Schlagworte Downsizing und Belastbarkeitssteigerungen bestimmen die aktuelle Entwicklung von Fahrzeugantriebskomponenten wie Getriebewellen oder Differenzialgetrieben. Zum Fügen derartiger Bauteile hat sich das Laserstrahlschweißen als wirtschaftliches und schädigungsarmes Fertigungsverfahren etabliert. Eine optimale Auslastung der Schweißkonstruktion lässt sich aber häufig nicht erreichen, weil Kennwerte für die zyklische Schweißnahtfestigkeit unter getriebetypischen Beanspruchungen nicht verfügbar sind. Außerdem erfordert der praktische Nachweis der Bauteilbelastbarkeit in der Regel aufwendige Getriebe- oder Gesamtfahrzeugtests.

Modellgestützte Bauteilauslegung für realitätsnahe Bestimmung der Schweißnahtfestigkeit

Das Fraunhofer IWS hat eine Methode entwickelt, die eine verfahrens- und belastungsgerechte Gestaltung lasergeschweißter Antriebskomponenten frühzeitig und effektiv ermöglicht. Unter realitätsnahen Belastungen analysieren die Wissenschaftler an vereinfachten Prüfkörpern bereits in der Entwurfsphase die lokale Beanspruchung und die Festigkeit der Schweißnaht mit Hilfe zyklischer Tests. Die Grundlage bildet eine detaillierte Analyse der mit realen Betriebslasten beaufschlagten Konstruktion auf Basis der Finite-Elemente-Methode (FEM). Dabei ermitteln die Wissenschaftler die versagenskritischen Schweißnahtspannungen und übertragen diese anschließend auf Prüfkörper. Die Untersuchung unter kombinierter Torsions-Axial-Belastung am Fraunhofer IWS ermöglicht anschließend die Bestimmung der Schweißnahtfestigkeit für getriebespezifische Lastfälle.

So entsteht eine belastungsgerechte optimierte Schweißnahtkonstruktion inklusive kostengünstigem Nachweis der Bauteilbelastbarkeit.



KONTAKT

Dr. Axel Jahn

Bauteilauslegung

+49 351 83391-3237

axel.jahn@iws.fraunhofer.de





1

SCHWEISSEN HOCHREFLEKTIVER METALLE

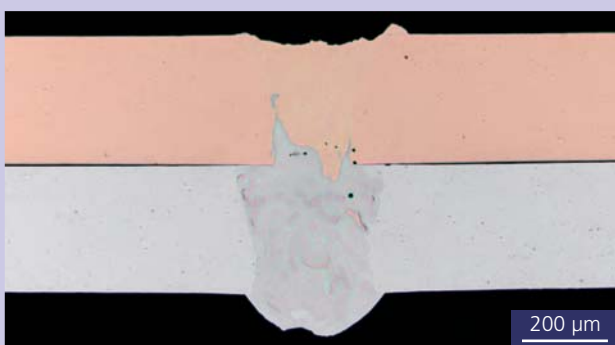
Metalle mit hervorragender elektrischer Leitfähigkeit sind für Anwendungen in der Elektromobilität und Leistungselektronik sehr interessant. Sie reflektieren die Laserstrahlung im infraroten Wellenlängenspektrum jedoch stark – eine große Herausforderung für die Lasermaterialbearbeitung. Strahlquellen mit 515 Nanometern Wellenlänge eröffnen neue Anwendungsmöglichkeiten zum Laserstrahlschweißen.

Die Entwicklung neuer Elektromobilitätskonzepte schreitet schnell voran. Moderne Fügetechnologien, zum Beispiel für die Kontaktierung von Batteriezellen oder in der Leistungselektronik, müssen die adressierten Anwendungen dazu befähigen, Anforderungen wie Verbindungsfestigkeit, elektrische Leitfähigkeit und deren Langzeitbeständigkeit sicherzustellen. Laserbasierte Lösungen eignen sich dafür besonders gut. Das Fraunhofer IWS entwickelte Prozesse für die Lasermaterialbearbeitung von Metallen mit hervorragender Leitfähigkeit, wie etwa Kupfer. Dafür setzen sie moderne Laser der Wellenlänge 515 Nanometer ein, um sichere Schweißprozesse mit exzellenter Schweißnahtqualität zu ermöglichen. Die Strahlqualität liegt bei 2,5 Millimeter mal Milliradiant. Arteigene Überlappverbindungen aus Kupfer- oder Mischverbindungen mit Aluminiumblech für Blechdicken von etwa einem Millimeter lassen sich mit einem Kilowatt Laserleistung effizient fertigen.

Kontrolliertes Wärmeleitungsschweißen ermöglicht

Die Forscher entwickelten leistungsfähige Schweißprozesse für Ableiter, Stromschienen und Kontakte zum Beispiel von Batterien für zukünftige Produkte namhafter Kunden. Darüber hinaus stehen auch die Möglichkeiten der 2D-Strahloszillation zur Verfügung, um unter anderem die mechanischen Eigenschaften der Verbindungen zum Beispiel durch breitere Schweißnähte zu optimieren. Diese Option lässt sich zusätzlich nutzen, um die Energiedeposition in das Bauteil gezielt zu beeinflussen. Im Gegensatz zur infraroten Laserstrahlung (1070 Nanometer) ermöglicht die Strahlquelle mit der Wellenlänge 515 Nanometer das kontrollierte Wärmeleitungsschweißen. Speziell filigrane Kontaktierungen entstehen ohne nennenswerte Werkstoffschädigung neben der Schweißnaht.

Schweißverbindung aus Kupfer und Aluminium mit homogener Schweißnahtausbildung.



1 Strahlvermessung der 515-Nanometer-Laserquelle – charakteristische Strahlausbildung.

KONTAKT

Dr. Dirk Dittrich

Laserstrahlschweißen

+49 351 83391-3228

dirk.dittrich@ivs.fraunhofer.de



LASERABTRAGEN UND -TRENNEN



Geschäftsfeldleiter **Dr. Andreas Wetzig**

DAS GESCHÄFTSFELD

Hochspezialisiert und unkonventionell – das Geschäftsfeld Laserabtragen und -trennen kommt bei allen Anforderungen ins Spiel, für die der Markt keine kommerziellen Lösungen bereithält. Die Wissenschaftler erforschen und entwickeln Verfahren und Systemtechnik rund um den Laser. Für den effizienten Einsatz der entwickelten Lösungen runden die Prozessauslegung und -analyse das Portfolio ab. Dem Fraunhofer IWS steht eine breite Spanne gängiger Laserquellen unterschiedlicher Wellenlänge, Leistung und Strahlqualität zur Verfügung. Die Forscher fokussieren sich sowohl auf metallische als auch nichtmetallische Werkstoffe. Darüber hinaus verfügen sie über umfassendes Fachwissen hinsichtlich der Bearbeitung von weichmagnetischen Werkstoffen. Im Fokus stehen Schnittgeschwindigkeit, Kantenqualität, Konturgenauigkeit und Taktzeitoptimierung. Zum Einsatz kommen Verfahren wie das Schmelz-, Brenn- und Remoteschneiden sowie das Bohren, Abtragen und das Hochgeschwindigkeitsbehandeln mit hohen Laserleistungen.



Dr. Jan Hauptmann

Abteilungsleiter High-Speed-
Laserbearbeitung
Tel.: +49 351 83391-3236
jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Peter Rauscher

Gruppenleiter Lasersystemtechnik
Tel.: +49 351 83391-3012
peter.rauscher@iws.fraunhofer.de



Dr. Achim Mahrle

Gruppenleiter Prozessauslegung
und -analyse
Tel.: +49 351 83391-3407
achim.mahrle@iws.fraunhofer.de



Dr. Patrick Herwig

Gruppenleiter Laserschneiden
Tel.: +49 351 83391-3199
patrick.herwig@iws.fraunhofer.de



ECHTZEITFÄHIGE SCANNERANSTEUERUNG FÜR HOCHDYNAMISCHE STRAHLFORMUNG

Die hochdynamische Strahlformung bietet Prozessvorteile beim Laserstrahlschneiden. Dank eines neuen Steuerungsansatzes ermöglicht es das Fraunhofer IWS Dresden, diese Vorteile auf komplexe Konturen zu übertragen.

Die Lasermaterialbearbeitung wird komplexer, die Anforderungen an Qualität und Produktivität steigen. Daher verbindet das Fraunhofer IWS diejenigen Komponenten miteinander, die am Bearbeitungsprozess beteiligt sind. Als Treiber gelten die Entwicklungen im Zuge der Digitalisierung, die unter das Schlagwort »Industrie 4.0« fallen. Eine besondere Bedeutung hat der Galvanometerscanner, der zur hochdynamischen Strahlformung verwendet wird. Deren Grundidee für das Laserstrahlschneiden besteht darin, die Vorteile hochbrillanter Laserstrahlquellen auch bei steigender Blechdicke zu nutzen. Eine zeitabhängige, räumliche Umverteilung der wirksamen Laserenergie sorgt für optimale Absorptionsbedingungen. Zur lokalen Verteilung der Strahlungsintensität kombinieren die Forscher des Fraunhofer IWS Galvanometerscanner mit einem Schneidkopf. In umfangreichen Untersuchungen für das Laserstrahlschneiden zeigten sie für den geraden Trennschnitt, dass sich die Schneidqualität und die Prozessgeschwindigkeit für Bleche ab sechs Millimetern steigern lässt.

Oszillierender Laserstahl auch für komplexe Konturen

Die neueste Weiterentwicklung der hochdynamischen Strahlformung bezieht sich auf den Transfer in den Konturschnitt. Im Vordergrund steht eine universelle und flexible Kopplung zur Maschinensteuerung. Deshalb wählten die Wissenschaftler eine steuerungstechnische Lösung, die das echtzeitfähige Bewegen eines Galvanometerscanners über eine SPS und ein Feldbus-system ermöglicht. Die Voraussetzung dafür bildet das am Dresdner Fraunhofer IWS entwickelte ESL2-100-Modul, das

als Gateway zwischen dem industriellen Feldbusystem EtherCAT und dem Scannerprotokoll (SL2-100 beziehungsweise XY2-100) fungiert. Das Modul lässt sich einfach in ein vorhandenes Steuerungssystem integrieren und kann ein X-Y-Scan-System ansteuern. Um den Transfer der hochdynamischen Strahloszillation in eine komplexe Bauteilgeometrie zu erlauben, muss die Bewegungsfigur des Laserstrahls mit der Maschinenbewegung mitgeführt werden. Die Berechnung der Nachführung erfolgt zyklisch in Intervallen von 100 Mikrosekunden anhand der jeweils aktuellen Positionsdaten. Im selben Takt bietet das ESL2-100-Modul die Möglichkeit, die Oszillationsparameter wie Amplitude, Frequenz und Phase zu verändern. Der Anwender entscheidet, ob dies in der Hand des Maschinenbedieners liegen oder anhand von Prozesssensoren erfolgen soll. Kommen letztere zum Einsatz, lassen sich diese einfach und flexibel über das vorhandene Feldbusystem integrieren. Sie ermöglichen es außerdem, die Bewegungsbahn des Galvanometerscanner zu beeinflussen. Die Art der Verknüpfung, der Umfang an Sensorik sowie deren Kombination in Abhängigkeit der Stellgrößen des Bearbeitungsprozesses lassen sich frei implementieren. Für die hochdynamische Strahlformung bedeutet dies, dass zusätzlich zur Nachführung auch die Oszillationsfigur selbst verändert werden kann – abhängig von der Bahngeschwindigkeit. Die Oszillationsart sowie der Schwellwert für die Umschaltung sind frei wählbar. Die Grundlage bildet das in umfangreichen Untersuchungen erarbeitete Prozess-Know-how, das über das neue Steuerungskonzept auf Basis des ESL2-100 Moduls abgebildet wird.

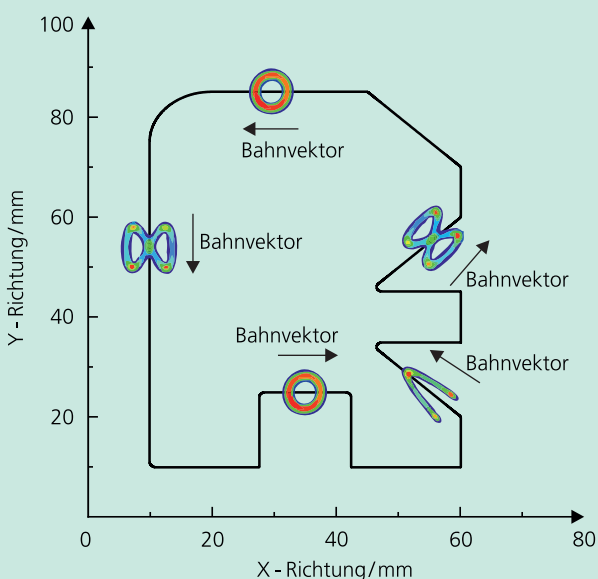


Hochdynamische Strahlformung im Konturschnitt

Für den effizienten Konturschnitt erweitern die Forscher des Fraunhofer IWS konventionelle Schneidköpfe um die hochdynamische Strahloszillation mittels Galvanometerscanner. Das eigenentwickelte ESL2-100-Modul erlaubt die Galvanometeransteuerung aus einer SPS-Umgebung und die Integration über ein Feldbussystem in die Maschinensteuerung. Die konturabhängige Modifikation der Oszillationsfigur erfolgt in Echtzeit anhand von Positionsdaten. Die Auswertung von Prozesssensorik kann weitere Anpassungen der Laserstrahlbewegung erfordern, die sich entsprechend umsetzen lassen. Unter anderem am Beispiel des Schmelzschnittens von Edelstahl mit einer Dicke von 12 Millimetern demonstrierten die Wissenschaftler erfolgreich das Zusammenspiel des Galvanometerscanners, des ESL2-

100-Modul und der Maschinensteuerung. Für die Bearbeitung komplexer Konturen kombinierten sie ein Scansystem mit einem konventionellen Schneidkopf. Das ESL-200-Modul steuert den Galvanometerscanner. Das industrielle Feldbussystem bildet die Schnittstelle zur Maschinensteuerung, sodass sich die Korrektur der Oszillationsfigur anhand der aktuellen Positionen berechnen lässt. Der Konturschnitt erfolgt im Schmelzschnitt beispielhaft an Edel- und Baustahl, jeweils in einer Dicke von zwölf Millimetern. Für beide Materialien werden spezifische Oszillationsfiguren verwendet, die über das ESL2-100-Modul mit der Maschinensteuerung verknüpft werden. Ein Drei-Kilowatt-Faserlaser erreicht auf diese Weise Schneidgeschwindigkeiten von 1,2 Metern pro Minute. Eine Veränderung der Prozessparameter kann dabei die Schneidqualität beeinflussen. Die Ergebnisse zeigen, dass der neue Steuerungsansatz die vielversprechenden Resultate vom geraden Trennschnitt erfolgreich in den Konturschnitt übertragen kann.

Prinzipskizze zum Laserstrahlschneiden mit hochdynamischer Strahlformung.



Die Oszillationsfigur wird konturabhängig anhand der aktuellen Positionsdaten der Führungsmaschine mitgeführt und zum Beispiel prozessabhängig umgeschaltet. Die Verknüpfung zum Prozess lässt sich frei implementieren.

- 1 Das am Fraunhofer IWS entwickelte ESL2-100-Modul dient der Ansteuerung von Galvanometerscannern. Es ermöglicht das Schneiden komplexer Geometrien.
- 2 Die hochdynamische Strahlformung bietet Vorteile beim gasunterstützten Laserschmelzschnitten. Mit dem ESL2-100 Modul kann die Technologie der hochdynamischen Strahlformung in den Konturschnitt (Beispiel: 12 Millimeter Edelstahl) übertragen werden.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Peter Rauscher

Lasersystemtechnik

+49 351 83391-3012

peter.rauscher@iws.fraunhofer.de



INNOVATIONEN FÜR DEN PRODUKTSCHUTZ

Ein neues Messprinzip steht für eine zukunftsweisende Technologie zur sicheren und eindeutigen Identifikation sowie »Track and Trace« von jeglichen Bauteilen. Das Verfahren beruht auf unsichtbaren Merkmalen, die mit einem speziell entwickelten Messaufbau erfasst und bildlich dargestellt werden können.

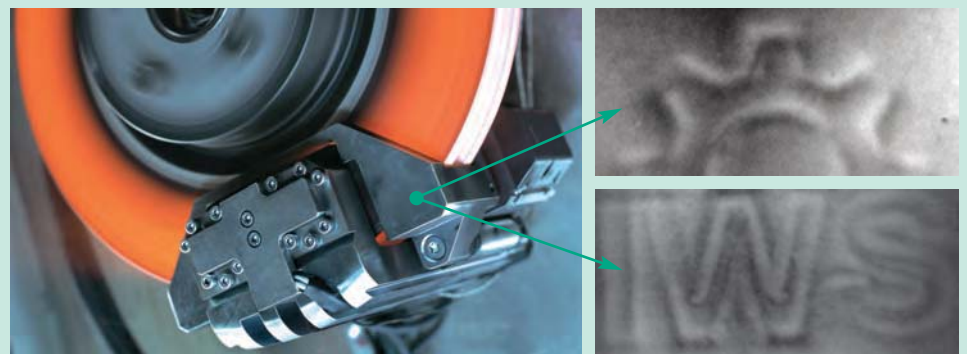
Die Entwicklung innovativer Produkte bietet gerade mittelständischen Unternehmen die Möglichkeit zum Erschließen neuer Märkte. Nachverfolgbarkeit, Design und Authentizität spielen dabei eine wichtige Rolle. Hologrammsticker und QR-Codes bedienen derzeit diese bedeutenden Features. Sie stören jedoch zuweilen die Ästhetik des Produktes.

Zusätzlich gewährleisten sie keineswegs vollständige Sicherheit oder Authentizität über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg, da sie sich relativ leicht manipulieren lassen. Aus diesem Grund besteht ein großer Bedarf an einer unsichtbaren, nicht manipulierbaren, aber dennoch einfach auslesbaren Markiertechnologie. Genau diese Eigenschaften bietet eine neue Entwicklung des Fraunhofer IWS. Die Technologie stellt einen neuen Baustein in der Produktverfolgung sowie in der Bekämpfung von Graumarkthandel und Produktpiraterie dar.

Mehr Produktsicherheit und eindeutige -identifikation

Das Fraunhofer IWS Dresden entwickelte und erprobte für diesen Zweck eine Erzeugungs- sowie Detektionsmethode neuartiger Sicherheitsmerkmale. Ein Laser bringt das von außen nicht sichtbare Merkmal auf die zu markierenden Produkte auf. Je nach

Bremsvorrichtung mit unsichtbaren Merkmalen zur eindeutigen Identifikation



Anforderung des Anwenders ermöglicht die Codierungstechnologie einfache sowie detailliertere Strukturen auf den Fabrikaten, die diese gegenüber Manipulation und Zerstörung absichern. Bei der Erkennung des Sicherheitsmerkmals liest die Messapparatur das Feature schnell und zuverlässig aus. Anhand des entstehenden Bildes lässt sich die Authentizität des Produktes zweifelsfrei feststellen. Auf diese Weise verbindet das Messverfahren die zuverlässige Echtheitsprüfung mit der Produktidentifikation des Bauteils.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Nikolai Schröder

Laserschneiden

☎ +49 351 83391-3066

✉ nikolai.schroeder@iws.fraunhofer.de





NEUE WEGE DER KANTENVERSIEGELUNG VON CFK

Eine wichtige Säule des modernen Leichtbaus ist der Einsatz von Multi-Material-Designs. Kommen die richtigen Werkstoffe am richtigen Platz zum Einsatz, lassen sich deren Eigenschaftsprofile optimal nutzen. Eine sichere Verwendung der möglichen Materialkombinationen ist jedoch durch die verfügbaren Fügeverfahren limitiert und erfordert die Weiterentwicklung der bisherigen Verbindungstechniken.

Ein limitierender Faktor bei der Nutzung von leichtbaurelevanten Multi-Material-Designs ist die Korrosionsproblematik. Insbesondere Kohlenstofffasern weisen gegenüber einigen Metallen eine hohe elektrochemische Potenzialdifferenz auf. Die trennende Bearbeitung von Faserkunststoffverbunden für die Formgebung und Besäumung führt verfahrensunabhängig zur Freilegung der Faserenden vom umgebenden Matrixmaterial an den Schnittkanten. Bei Bolzen- und Nietverbindungen mit Bauteilen aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) kommen die unterschiedlichen Werkstoffkomponenten unmittelbar in Kontakt. Ein Einsatz dieser Verbindungen in Bereichen mit elektrolytischen Umgebungsmedien ruft eine elektrochemische Korrosionsreaktion hervor. Aus diesem Grund werden im Flugzeugbau kostenintensive Verbindungselemente aus Titan eingesetzt.

Kanten versiegeln und Korrosionspartner isolieren

Das Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS entwickelte ein neuartiges Kantenversiegelungsverfahren, das an dieser Stelle ansetzt und insbesondere Remote-Laserschnittene Kanten von CFK nachbearbeitet. Die Technologie lässt sich ebenso für andere Trennmethode anwenden. Sie dient dazu, Bohrungskanten mit einer Epoxidschicht zu versiegeln und somit die schädigende Korrosionsreaktion zu unterbinden. Das hier vorgestellte Harzinjektionsverfahren ist der Resin Transfer Molding Technik (RTM) ähnlich. Durch ein angelegtes Vakuum wird ein niedrigviskoses Epoxidharz in ein prototypisches

Werkzeug eingespritzt und in einer Kavität um die Bohrungskante verteilt. Anhand des Prototyps zeigte das Fraunhofer IWS, dass sich eine werkzeuggestützte Kantennachbehandlung von Bohrungen prozesstechnisch umsetzen lässt. Damit stellen die Wissenschaftler die Grundlage für einen automatisierbaren Prozess bereit und erbrachten den Nachweis, dass die Versiegelungsschicht als kathodischer Korrosionsschutz wirkt. Bei Aluminium- und verzinkten Stahlbolzen unterband oder verlangsamte sich während eines vierwöchigen Salzsprühnebeltests die Korrosionsreaktion deutlich. Zur Überführung der Technologie in die Serienfertigung steht die Verringerung der Taktzeiten und eine verbesserte Handhabbarkeit im Vordergrund der weiteren Forschungsarbeiten. Dann steht mit dem Versiegelungsverfahren ein Prozess zur Verfügung, der das Spektrum der verwendbaren Materialkombinationen erweitert und das Potenzial für einen kosteneffizienteren Leichtbau bietet.

1 Prototypisches Werkzeug zur Kantenversiegelung von CFK.

KONTAKT

Dipl.-Ing. Michael Rose

Laserschneiden Nichtmetalle

+49 351 83391-3539

michael.rose@iws.fraunhofer.de



TROUBLESHOOTING: OPTIMIERUNG OPTISCHER SYSTEME

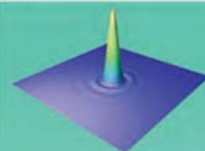
Unerwartete Effekte und mangelnde Reproduzierbarkeit von Bearbeitungsergebnissen können auf Fehlern im optischen Aufbau beruhen. Simulationswerkzeuge können derartige Defizite häufig eindeutig nachweisen. Die Analyse und Optimierung eliminieren diese effektiv. So lassen sich langwierige Fehlersuchen im Aufbau vermeiden.

Beim lasergestützten Plasmaschweißen handelt es sich um eine hybride Fügetechnologie mit Anwendungspotenzialen für Dünnscheiben. Dafür kommt ein am Fraunhofer IWS eigens konzipierter Plasmabrenner zum Einsatz. Nach einem routinemäßigen Tausch des Schutzglases und der verwendeten Hohlkathode wurden Prozessinstabilitäten beobachtet. Eine anschließende Strahl-diagnose zeigte ausgeprägte Strahlfehler und eine um zehn Millimeter verschobene Fokusebene. Dies bewirkte einen um 20 Prozent größeren Laserstrahldurchmesser auf dem Bauteil, worauf die beobachteten Instabilitäten beruhen. Zur Beurteilung dieser Abweichungen analysierten die Wissenschaftler das optische System mit zwei identifizierten Engstellen des Plasma-Laser-Aufbaus in einer Simulation. Die Ergebnisse der Simulation des Ist-Zustandes legten nahe, dass der Strahl an einer Stelle eingeschnürt wurde. Anhand der Simulation waren die Forscher in der Lage, das Schutzglas als Verursacher der Strahlfehler auszuschließen. Stattdessen identifizierten sie die Eintrittsbohrung der neuen Hohlkathode als Fehlerursache. Eine Vergrößerung dieser Bohrung um 0,2 Millimeter reichte nach den Berechnungen aus, um eine ungestörte Strahlpropagation durch die Hohlkathode zu gewährleisten. Eine erneute Strahlvermessung am Aufbau bestätigte diese Ergebnisse. Die Simulation lässt sich somit als effektives Werkzeug nutzen, um Fehler im System zu identifizieren und zu eliminieren. Die Berechnungen erweisen sich dabei als weit weniger zeitaufwendig als eine experimentelle Fehlersuche im Trial-and-Error-Prinzip.

Prozesskette zur Optimierung optischer Systeme



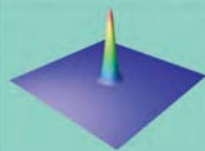
Ausführung eines Prozesses mit unerwartetem Ergebnis.



Simulative Auswertung des Ist-Zustands.



Optimierung des optischen Aufbaus im Simulationsprogramm.



Simulation des optimierten Ergebnisses.

KONTAKT

M.Sc. Dominik Hipp

Prozessauslegung und -analyse

☎ +49 351 83391-3434

✉ dominik.hipp@iws.fraunhofer.de





1

LASERTECHNIK FÜR SICHERE KAMPFMITTELBESEITIGUNG

In Zeiten zunehmender politischer Spannungen setzt das Fraunhofer IWS ein Zeichen der Entspannung. Wissenschaftler des Dresdner Instituts entwickelten mehrere Verfahren zur sicheren Entsorgung von Kampfmitteln. Die Automatisierung und Flexibilisierung verringert Zerlege- und Rüstzeit für sich ständig ändernde Anforderungen. Im Mittelpunkt der Entwicklungen steht der Schutz des Bedieners und der Umwelt.

Jährlich werden deutschlandweit 5500 Blindgänger entschärft und geborgen. Schätzungsweise sind noch mehr als 100 000 Sprengkörper in Deutschland unentdeckt. Mit Entfernung des Zünders beginnt die Arbeit der kommerziellen Entsorgungsunternehmen, indem das Metall vom Sprengstoff separiert und getrennt entsorgt werden muss. 70 Jahre Umwelteinflüsse und Deformationen des Abwurfes lassen aus der Entschärfung jedes einzelnen Objekts eine einzigartig gefährliche Herausforderung in Handarbeit werden. Auf Basis von 25 Jahren Erfahrung bei Sonderlösungen im Laserstrahltrennen und -schweißen entwickelte das Fraunhofer IWS Konzepte zum automatisierten gefahrlosen Öffnen und Trennen von Kampfmitteln. Flexibel einsatzfähige und mit moderner Sensorik ausgestattete Industrieroboter erlauben es, die Bahn zum Auftrennen des individuellen metallischen Mantels spezifisch zu planen und per Laser zu schneiden. Eine Erweiterung um Dreh-Kipp-Tische erschließt nahezu jede Bauform bis hin zu Hohlkammergeschossen.

Berührungslos in geschützter Distanz entschärfen

Um den Sprengstoff lediglich an der Grenzfläche zu verflüssigen, kommt industriell erprobte Induktionstechnik zum Einsatz. Die entstehende Gleitschicht lässt den Sprengstoff größtenteils als Feststoff vom Mantel trennen. Die eingesetzten Induktoren sind universell nutzbar und kompensieren durch angepasste Bahnplanung vorhandene Durchmesserschwankungen und Deformationen.

Mit der zum Laserhärten entwickelten Temperaturregelung »LompocPro« steht den Forschern am Fraunhofer IWS erprobte Hardware zur Verfügung, die eine exakte Regelung auf Schmelztemperatur des jeweiligen Sprengstoffs an der Grenzfläche ermöglicht. Die eingesetzte Anlagentechnik lässt sich mobil einsetzen und fernsteuern, sodass alle Prozesse aus sicherer Entfernung im Munitionsbunker durchgeführt werden können. Auch die Bearbeitung in Schutzatmosphären für luftreaktive Kampfmittel ist möglich. Als berührungsloses Werkzeug ist der Laser keinem Verschleiß ausgesetzt und erzeugt keine giftigen Abprodukte wie beispielsweise kontaminiertes Kühlwasser. Neben den noch zu bergenden Fundstücken gilt es die prall gefüllten Depots der Entsorgungsunternehmen zu leeren und weiterhin anfallende Altmunition der Streitkräfte heute und in Zukunft sicher zu entsorgen. Die Technologie besitzt das Potenzial für den weltweiten Einsatz.

1 *Mehrere laserbasierte Verfahren des Fraunhofer IWS sorgen für eine sichere Entschärfung und Entsorgung von Sprengstoff aus sicherer Distanz.*

KONTAKT

Dr. Patrick Herwig

Laserschneiden

+49 351 83391-3199

patrick.herwig@iws.fraunhofer.de





Geschäftsfeldleiter **Dr. Udo Klotzbach**

DAS GESCHÄFTSFELD

Auf Lasertechnik unter der Lupe hat sich das Geschäftsfeld Mikrotechnik spezialisiert. Die Wissenschaftler erforschen und entwickeln Oberflächen mit Funktionalitäten, die Lotusblättern oder der Haut von Haifischen ähneln. Denn die fortschreitende Miniaturisierung in Elektronik, Halbleiterfertigung und Biomedizintechnik erfordert immer kleinere und präzisere Strukturen für die unterschiedlichsten Substrate. Das ermöglicht das Fraunhofer IWS etwa mit dem Lasermikrobearbeiten mit Hilfe umfangreicher moderner Ausstattung und fundierter Fachkenntnis. Das Angebot des Geschäftsfelds Mikrotechnik richtet sich an produktorientierte Anwender, die tiefgreifendes systemisches Wissen über den Werkstoff und die dafür notwendigen Laserparameter benötigen, um hochspezielle Fragestellungen zu beantworten. Dafür bietet das Geschäftsfeld etwa die Laserinterferenzstrukturierung, die erst durch die Arbeit der Wissenschaftler des Fraunhofer IWS erstmals Industriereife erfahren hat. Eine Vorreiterrolle übernimmt die Mikrotechnik beim Thema »Embedded Systems«: Akustische und visuelle Daten zu sammeln, auszuwerten und hinsichtlich der Prozessgeschwindigkeit zu optimieren – davon soll zukünftig der Anwender profitieren.



Dr. Tim Kunze

Gruppenleiter
Oberflächenfunktionalisierung
Tel.: +49 351 83391-3661
tim.kunze@iws.fraunhofer.de



Dr. Frank Sonntag

Gruppenleiter Mikro- und
Biosystemtechnik
Tel.: +49 351 83391-3259
frank.sonntag@iws.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Volker Franke

Gruppenleiter Mikromaterialbearbeiten
Tel.: +49 351 83391-3254
volker.franke@iws.fraunhofer.de

LASERSTRUKTURIEREN NAHTLOSER PRÄGEWALZEN

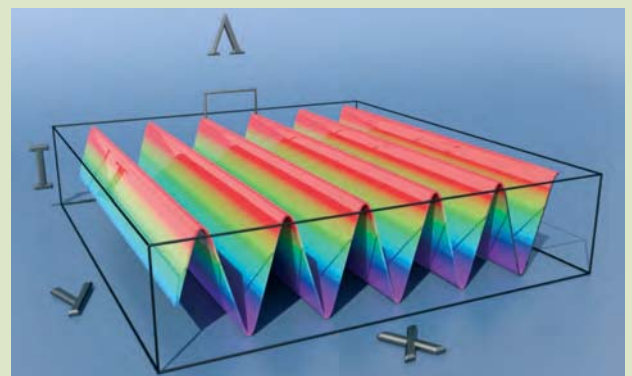
Das Direkte Laserinterferenzstrukturieren (DLIP) erzeugt definierte Nano- und Mikrostrukturen auf Walzenprägekörpern. Im Rolle-zu-Rolle-Verfahren können diese DLIP-Strukturen für maßgeschneiderte Oberflächenfunktionalitäten erschlossen werden. Vor allem aufgrund des rasanten technischen Fortschritts in der Entwicklung von Laserquellen gewinnt das Verfahren immer größere Bedeutung für industrielle Anwendungen.

Das Funktionalisieren technischer Oberflächen gilt bereits heute als Innovationsinstrument des 21. Jahrhunderts. Längst beeinflussen nicht mehr nur das eingesetzte Material beziehungsweise dessen chemische Oberflächeneigenschaft die Leistungsfähigkeit vieler technischer Produkte. Künstlich induzierte, definierte Mikrostrukturen verleihen den vormals einfachen Begrenzungsflächen zusätzliche, neue funktionale Elemente. Das präzise und effiziente Erzeugen künstlicher Oberflächen-topografien rückt daher zunehmend in den Fokus industrieller Anwendungen. Schon heute bieten die meist aus der Natur adaptierten Oberflächenstrukturen ein signifikantes Innovationspotenzial in Einsatzgebieten wie Tribologie für Automotive-Anwendungen, der Biokompatibilität von Implantaten, der modifizierten Benetzbarkeit für selbstreinigende Oberflächen sowie dem Produkt- und Markenschutz. Die dafür notwendigen Herstellungsmethoden reichen von Technologien wie Laserdirekt-schreiben und Elektronenstrahlolithografie über Mikrofräsen, Erodieren und Sandstrahlen bis hin zu Plasmaätzprozessen. Unter Anwendung dieser Verfahren lassen sich stochastische oder periodische Oberflächenstrukturen auf der Nano- und Mikrometerskala herstellen. Das Herstellen dieser vielseitig einsetzbaren Strukturen stellt heutzutage eine der größten technischen Herausforderungen beim Erschließen neuer, maßgeschneiderter Oberflächenfunktionalitäten dar. Infolgedessen wächst der Innovationsdrang, neue Technologien beziehungsweise Technologiepfade zu erschließen und für industrielle Anwendungen bereitzustellen.

Hochwirtschaftlicher Prozess im Rolle-zu-Rolle-Verfahren

Erstmals gelang es die am Fraunhofer IWS entwickelte Interferenzstrukturierung in einen ökonomischen Replikationsprozess im Rolle-zu-Rolle-Verfahren zum Funktionalisieren polymerer Folien zu übertragen. Den entscheidenden Faktor stellte dabei die enge Zusammenarbeit mit der Professur für Laserbasierte Methoden der großflächigen Oberflächenstrukturierung an der TU Dresden dar. Die Kerninnovation besteht im Hochgeschwindigkeitsbearbeiten der Walzenprägekörper (»master sleeves«) mit Hilfe der direkten Laserinterferenzstrukturierung (englisch:

DLIP-Intensitätsverteilung für Zwei-Strahl-Setup



Das Überlagern kohärenter Laserstrahlen moduliert die Laserintensität periodisch und ermöglicht es somit Oberflächenstrukturen gezielt zu erzeugen.



»Direct Laser Interference Patterning«). Beim DLIP-Verfahren wird ein kohärenter, gepulster Laserstrahl mit Pulslängen auf der Piko- bis Nanosekundskaala in zwei oder mehr Teilstrahlen geteilt und kontrolliert auf der Materialoberfläche wieder überlagert. Das sich ausprägende Interferenzmuster im Laserprofil setzen die Wissenschaftler gezielt als eine Art Laserstempeln in einem Prozessschritt zum Herstellen funktionaler Oberflächentopographien auf Metallen, Polymeren, Keramiken und Beschichtungen ein. Weil keine zusätzlichen Randbedingungen wie Vakuum oder Reinraum notwendig sind, eignet sich das DLIP-Verfahren sehr gut für den industriellen Einsatz.

Hochwirtschaftliches Funktionalisieren technischer Polymerfolien

Die disruptiven Eigenschaften zum Erzeugen definierter Mikro- und Nanostrukturen zeigt das DLIP-Verfahren anhand der bereits erreichbaren Walzenstrukturierungsgeschwindigkeiten (»Tooling-speed«). Die Forscher sind in der Lage, Master-sleeves mit einer Walzenbreite von 600 Millimetern und einem Walzendurchmesser von 300 Millimetern in weniger als 60 Minuten mit Strukturen im Mikro- und Submikrometerspektrum zu funktionalisieren. Dies entspricht einer effektiven Strukturierungsgeschwindigkeit von 57 Quadratzentimetern pro Minute. Vergleichbare Technologien benötigen dafür ein Vielfaches. Das DLIP-Verfahren profitiert dabei sowohl vom Fortschritt unter den kommerziell erhältlichen Hochleistungslaserquellen als auch von der Weiterentwicklung innovativer Strahlführungskonzepte, sodass sich die erzielbaren Toolinggeschwindigkeiten perspektivisch noch weiter steigern lassen. Zusätzlich ermöglicht das DLIP-Verfahren das Realisieren nahtloser Walzenkörper – ein deutlicher Vorteil gegenüber konkurrierenden Strukturierungstechnologien. Die DLIP-strukturierten Walzenkörper eignen

sich für Rolle-zu-Rolle-Verfahren wie dem Heiß- oder UV-Prägen. Beide genannten Prägeverfahren werden bereits in vielen industriellen Anwendungsfeldern eingesetzt. Aufgrund der DLIP-Bearbeitung profitieren diese von deutlich verringerten Toolingkosten von bis zu 90 Prozent. Der Rolle-zu-Rolle-DLIP-Ansatz ermöglicht effektive Strukturierungsgeschwindigkeiten polymerer Folien von 15 Quadratmetern pro Minute bei einer Walzenbreite von 300 Millimetern. Perspektivisch werden sich durch das DLIP-Strukturieren von Walzenprägekörpern die Herstellungsgeschwindigkeiten funktionalisierter Polymersubstrate mit Substratbreiten jenseits von 300 Millimetern industriell skalieren lassen. Die Flexibilität des Verfahrens zum Erzeugen individueller, funktionaler Oberflächenstrukturen trägt damit signifikant zur Entwicklung neuer, wettbewerbsfähiger Produkte bei. Davon profitieren perspektivisch alle Anwendungsgebiete der individualisierten Massenfertigung: organische Elektronik, Lichtmanagement, Produktschutz, Verpackungslösungen sowie dekorative Anwendungen.

- 1 Vollflächig strukturierter Walzensleeve ohne Naht.
- 2 Walzenstrukturierungsanlage mit DLIP-Modulen des Fraunhofer IWS.



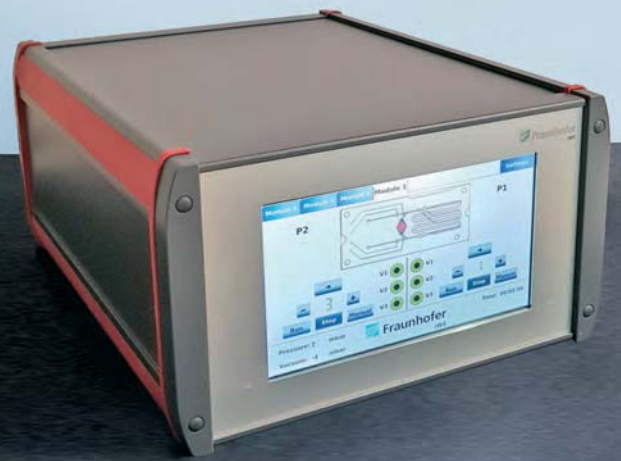
KONTAKT

Dipl.-Ing. Valentin Lang
Oberflächenfunktionalisierung

☎ +49 351 83391-3249

✉ valentin.lang@iws.fraunhofer.de





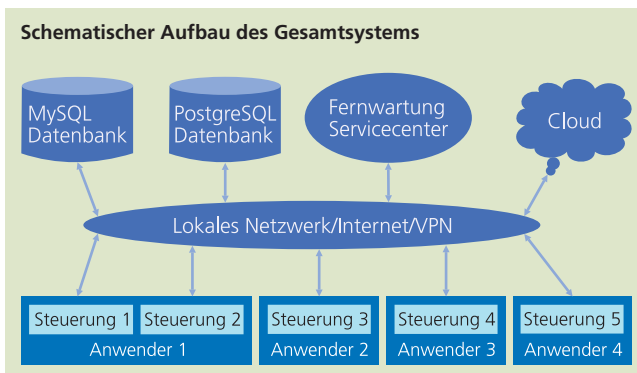
1

UNIVERSELLE VERNETZBARE STEUERUNG

Moderne Geräte und Anlagen sollen Nutzern bei ihrer zunehmend komplexeren Arbeit assistieren. Dies setzt eine neue Generation von Steuerungen voraus, die Funktionalitäten wie Selbstoptimierung, Selbstdiagnose, maschinelles Lernen und Kommunikation bereitstellen. Für das schnelle Realisieren maßgeschneiderter Lösungen entwickelte das Fraunhofer IWS erfolgreich eine universelle vernetzbare Steuerung.

Moderne Industrieprozesse erfordern immer komplexere Steuerungen, die den Nutzern bei ihrer zunehmend anspruchsvolleren Arbeit assistieren. Parallel zu etablierten Steuerungs- und Regelungsaufgaben sind zusätzliche Funktionen wie maschinelles Lernen, Kommunikation, Selbstoptimierung und Selbstdiagnose zu integrieren. Das Stichwort lautet »Industrie 4.0«.

- Messen, Steuern und Regeln über anwendungsspezifische Ein- und Ausgabeschneitstellen (echtzeitfähig durch programmierbare Logik)
- Datenaustausch mit PostgreSQL- und MySQL-Datenbanken
- Interaktion mit Cloudsystemen
- Webbasierte Administration



Steuerung bereits im Einsatz

Die entwickelte universelle, vernetzbare Steuerung wird bereits erfolgreich in der medizinischen Grundlagenforschung, Substanztestung und personalisierten Medizin zum Betreiben komplexer Lab-on-a-Chip-Systeme eingesetzt. Dabei übernimmt sie parallel zum Steuern und Regeln das Vorverarbeiten, Analysieren und Aufzeichnen von Prozessdaten sowie das Kommunizieren mit Datenbanksystemen. Perspektivisch soll die Steuerung auch in der Lasermikromaterialbearbeitung und Additiven Fertigung zum Einsatz kommen.

Für diese erhöhte Komplexität entwickelte das Fraunhofer IWS eine universelle, vernetzbare Steuerung. Als Herzstück fungiert wie bei Mobiltelefonen und Tablets ein kompakter Einplatinencomputer (»System-on-a-Chip«). Diese sind preiswert, vereinen verschiedenste Ressourcen vom Mehrkernprozessor über Schnittstellen bis hin zu programmierbarer Logik und können unterschiedliche Anforderungen auf einer Plattform umzusetzen.

- Die neue Steuerung stellt folgende Funktionalitäten bereit:
- Erfassen, Vorverarbeiten, Analysieren und Aufzeichnen von Prozessdaten

1 Foto einer universellen, vernetzbaren Steuerung.

KONTAKT

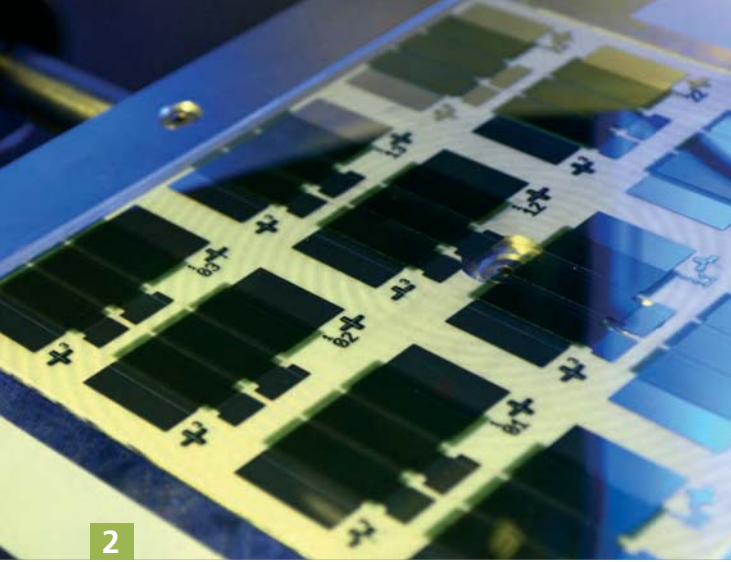
Dr. Frank Sonntag

Mikro- und Biosystemtechnik

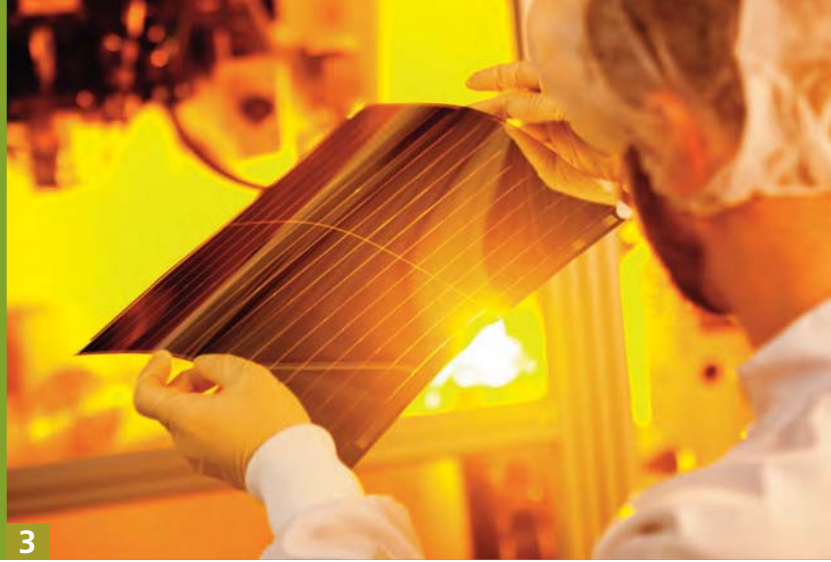
+49 351 83391-3259

frank.sonntag@iws.fraunhofer.de





2



3

ORGANISCHE FLÄCHENELEKTRONIK MIT KURZPULSLASERN FUNKTIONALISIEREN

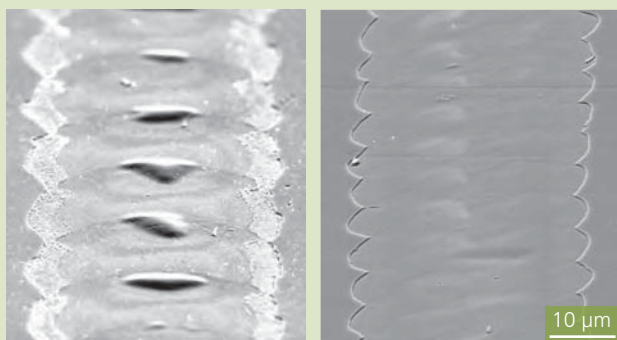
Der Markterfolg moderner Elektronikartikel wie Bildschirme und Mobiltelefone beruht auf technischen Eigenschaften wie Farbbrillanz und Leuchtkraft, aber auch auf zusätzlichen Komfortfunktionalitäten wie Fingersteuerung oder sogar Biegsamkeit. Denkbar werden solche Produkte nur durch den Einsatz gestapelter, ultradünner und transparenter Schichten aus unterschiedlichen Hochleistungsmaterialien.

Die Entwicklung von Elektronikartikeln reißt nicht ab. Die Technik wird immer ausgefeilter, die Möglichkeiten vielfältiger. Ein Beispiel stellt die organische Photovoltaik (OPV) dar. Dabei handelt es sich um Solarmodule, deren organische Funktionsschichten auf Folien aufgebracht sind. Mit solchen effizienten, leichten, flexiblen und teiltransparenten Modulen lässt sich mobil und auf frei geformten Flächen Energie generieren. Voraussetzung dafür ist das Maßschneidern ihrer Eigenschaften. Das Fraunhofer IWS entwickelte als Partner und Koordinator des europäisch geförderten Verbundprojekts »Alabo« eine Lösung, die Schichten – vergleichbar mit in Reihe angeordneten Batterien – schadungsfrei sowie im späteren Produkt nicht sichtbar unterteilt und verschaltet. Bei dieser OPV-Variante müssen drei von fünf Schichten mit 60 bis 250 Nanometern Dicke separat segmentiert werden, ohne darunterliegende Funktionsschichten zu beeinflussen.

Schädigungsarm funktionalisieren

Alternativlos ist der Einsatz von Pikosekundenlasern, deren einzelne Pulse mikroskalige Materialvolumina abtragen. Teiltransparente organische und hochreflektierende metallische Schichten bearbeiteten die Wissenschaftler äußerst schonend und erreichten so die photoelektrische Modulperformance. Die Arbeitsergebnisse zeigen, dass sich gestapelte Flächenelektronik mit integrierten Schichtbarrieren gegen Umwelteinflüsse schadungsarm funktionalisieren lässt. Diesem neuen Ansatz werden Kosteneinspareffekte von ungefähr einem Drittel der Gesamtproduktionskosten zugeschrieben. Im Zusammenwirken mit den Entwicklungen der Partner schnürte das Fraunhofer IWS ein technologisch zukunftssträchtiges Gesamtpaket mit hohem Digitalisierungsgrad.

Inhomogener Scribe mit Barrierschaden (l.) und schadensfreier Scribe (r.)



- 2 *Laserbearbeitete Funktionsmuster organischer Solarzellmodule.*
- 3 *Rolle-zu-Rolle-prozessierte organische Solarzelle.*



Dieses Projekt wird gefördert durch die EU.

Verbundprojekt: »ALABO«

Projektnummer: 644026

KONTAKT

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kuntze

Mikromaterialbearbeiten

☎ +49 351 83391-3227

✉ thomas.kuntze@iws.fraunhofer.de



WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG UND -PRÜFUNG



Abteilungsleiterin **Prof. Dr. Martina Zimmermann**

DIE ABTEILUNG

Kontrolliert zerstören, was andere aufgebaut haben: Die Werkstoff- und Bauteilprüfung nimmt das Materialinnere in den Blick und geht selbst dem kleinsten Detail auf den Grund. Auf diese Weise beurteilen die Wissenschaftler die Werkstoff- und Bauteilqualität und liefern Hinweise darüber, an welchen Stellen sich Herstellungs- und Bearbeitungsprozesse optimieren lassen. Ein umfassendes Werkstoffwissen, langjährige methodische Erfahrungen und eine umfangreiche Geräteausstattung bilden die Basis für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Zum Leistungsspektrum gehören die metallographische Charakterisierung und die elektronenmikroskopische Analyse von Werkstoffen und deren Verbunden von der Makro- bis zur Nanoskala. Es werden Kennwerte ermittelt und Strategien abgeleitet, um Bauteile werkstoff- und beanspruchungsgerecht auslegen zu können. Für die Neu- und Weiterentwicklungen von Fertigungstechnologien übernehmen die Wissenschaftler die Eignungsbewertung, Werkstoffauswahl und Bauteiloptimierung. Darüber hinaus werden Prüfverfahren entwickelt, bewertet oder angepasst. Versagens- und Schadensanalysen runden das Portfolio ab.



Prof. Dr. Martina Zimmermann

Gruppenleiterin Werkstoff- und
Bauteilprüfung

Tel.: +49 351 83391-3573

martina.zimmermann@iws.fraunhofer.de



Dr. Jörg Kaspar

Gruppenleiter Werkstoff- und
Schadensanalytik

Tel.: +49 351 83391-3216

joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de

KURZZEITDIAGNOSTIK DER SCHWINGFESTIGKEIT

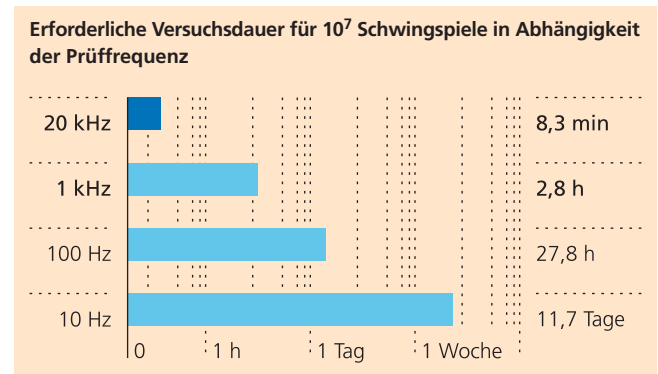
Untersuchungen zur Schwingfestigkeit von Komponenten bedeuten häufig einen erheblichen finanziellen und zeitlichen Aufwand. Das Fraunhofer IWS verfügt über innovative Prüftechnologien und weitreichende Kompetenzen, um Ermüdungseigenschaften in kürzester Zeit zu ermitteln – etwa bei umfangreichen Parameterstudien zur Schwingfestigkeit additiv gefertigter Strukturen.

Bei der Qualifizierung von Fertigungsprozessen entsteht durch angewandten Leichtbau und einen ressourceneffizienten Werkstoffeinsatz häufig die Frage nach der Zuverlässigkeit und damit auch den Ermüdungseigenschaften von Bauteilen. Besonders präsent ist diese Problematik bei topologieoptimierten additiv gefertigten Strukturen. Vielversprechenden Ergebnissen aus quasistatischen Versuchen stehen meist deutliche Einbußen im Hinblick auf die zyklischen Festigkeiten gegenüber. Die Schwingfestigkeit additiv gefertigter Strukturen bleibt meist deutlich unter der des Walz- oder Schmiedewerkstoffs. Zudem nimmt die Streuung der Ergebnisse erheblich zu. Damit sich trotz der Vielzahl an Einflussparametern bei additiven Fertigungsverfahren – wie Aufbauichtung und Pulvercharge – eine sichere Prozesskette entwickeln lässt und die versagenskritischen Unregelmäßigkeiten identifiziert sind, ist es unabdingbar, eine umfangreiche Versuchsmatrix zu prüfen. In klassischen Prüflaboren (zum Beispiel mit servohydraulischen Prüfständen) wird bei solchen Aufgaben schnell ein Zeitrahmen von mehreren Monaten erforderlich. Dieser Umstand steht einer prozessbegleitenden, unmittelbaren Qualitätssicherung neuer Fertigungsketten im digitalen Zeitalter entgegen.

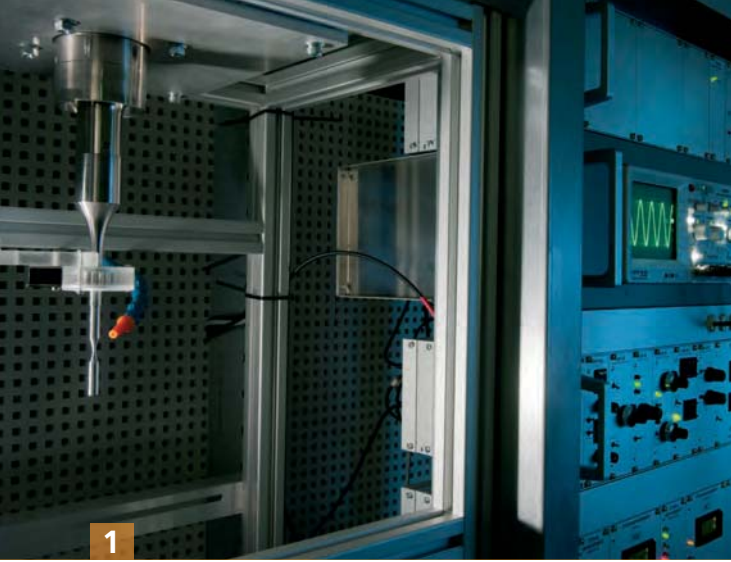
Zeitersparnis durch hocheffiziente Prüftechnik

Das Fraunhofer IWS verfügt über ein Labor mit umfangreicher Hochfrequenzermüdungsprüftechnik, die den Zeitbedarf zur Ermittlung von Schwingfestigkeitsdaten von einigen Monaten auf wenige Tage reduzieren kann.

Zum einen stehen Ultraschall-Ermüdungsanlagen bereit, die Tests bei Frequenzen von circa 20 Kilohertz ermöglichen. Diese Prüftechnik erlaubt es, die tatsächliche Bauteillebensdauer über 10^7 Schwingspiele und mehr im Labor in wenigen Minuten zu testen. Diese Aussage gilt auch, wenn die effektive Prüffrequenz für einige Werkstoffe geringer ausfällt, um unerwünschte Temperatureffekte zu vermeiden. Für eine Mindestanzahl von 15 Proben zur statistisch belegten Ermittlung der Langzeitfestigkeit werden am IWS nur rund zwei Tage benötigt.



Außerdem stehen dem Fraunhofer IWS Resonanzpulsatoren mit einer Prüffrequenz von einem Kilohertz zur Verfügung. Diese Anlagen eignen sich optimal, um hochzyklisch belastete Strukturen unter realitätsnahen Bedingungen zu testen. Wird diese Technik für die Ermittlung einer statistisch belegten Zeitfestigkeitsgeraden (10^4 bis 10^6 Zyklen) eingesetzt, kann diese auch in wenigen Tagen bestimmt werden. Je Prüftechnologie



1



2

stehen mehrere Anlagen bereit. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, die Prüfzeit weiter zu reduzieren beziehungsweise parallel den Einfluss verschiedener Prozessbedingungen zu testen. Neben den effizienten Prüfmaschinen verfügt das Fraunhofer IWS über umfangreiche Möglichkeiten zur Charakterisierung von Gefüge und Oberflächen. Die Methoden reichen von makroskopischen Untersuchungen bis hin zur höchstauflösenden Elektronenmikroskopie (REM). Vor allem die fraktografische Analyse von Bruchflächen mittels REM ergänzt Untersuchungen zur Schwingfestigkeit in idealer Weise. In der Bündelung der genannten Kompetenzen liegt die Stärke des Fraunhofer IWS, gerade wenn es um kurzfristige und kompetente Aussagen zu Ermüdungseigenschaften geht. Umfangreiche Prüfserien, sowohl in der Phase der Prozessentwicklung als auch für Parameterstudien zur Optimierung eines Serienprozesses, führt das Dresdner Institut kurzerhand durch. Dank langjähriger und umfangreicher Erfahrung im Hinblick auf werkstoffgerechte Gestaltung identifiziert und optimiert das IWS zuverlässig kritische Faktoren von Fertigungsprozessen.

Anwendungsbeispiel: Additiv gefertigte Strukturen aus dem Stahl 17-4PH

Während einer Machbarkeitsstudie prüfte das Kompetenzfeld Werkstoffcharakterisierung und -prüfung die Durchführbarkeit der vorgestellten Kurzzeitdiagnostik für additiv gefertigte Werkstoffe. Exemplarisch wählten die IWS-Forscher den aushärtbaren und korrosionsbeständigen Stahl 17-4PH. Zur Abbildung eines Chargenvergleichs prüfen sie die Zustände »as-built«, »wärmebehandelt« sowie als Referenz den »gewalzten Zustand«. Bei den quasistatischen Versuchen ergaben sich nur geringfügige Differenzen in der Zugfestigkeit zwischen den drei Zuständen.

Das Ergebnis der zyklischen Prüfung bei hohen Frequenzen verdeutlichte jedoch die Notwendigkeit der individuellen Kennwertermittlung für das additiv gefertigte Material. Die ertragbare Spannungsamplitude der wärmebehandelten Charge lag etwa 40 Prozent unter der des Walzwerkstoffes. Bei dem Zustand »as-built« fiel die ertragbare Spannung sogar um 75 Prozent ab. Zudem unterlagen die Ergebnisse einer sehr großen Streuung. Für die Qualifizierung von additiven Prozessen ist es demzufolge unabdingbar, Untersuchungen zur Schwingfestigkeit in Abhängigkeit der jeweiligen Prozessstrategie durchzuführen. Neben der mechanischen Prüfung wurden die Gefügeeigenschaften von der Makro- bis zur Mikroebene charakterisiert. Die Analyse der Bruchflächen identifizierte die versagenskritischen Imperfektionen. Diese Erkenntnisse dienen als Ausgang für Änderungen im Fertigungsprozess zur Optimierung der Schwingfestigkeit. Die im betrachteten Beispiel gewonnenen Daten zur Schwingfestigkeit additiv gefertigter Werkstoffe ordnen sich in die bisher veröffentlichten Ergebnisse ein. Die Studie stellt die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Hochfrequenzprüftechnik unter Beweis und unterstreicht zugleich die Qualität der gewonnenen Ergebnisse.

- 1 *Prüfaufbau eines Ultraschall-Ermüdungsprüfstands, der bei einer Prüffrequenz von circa 20 Kilohertz testet.*
- 2 *Prüfaufbau eines Resonanzpulsators mit einer Prüffrequenz von einem Kilohertz.*

KONTAKT

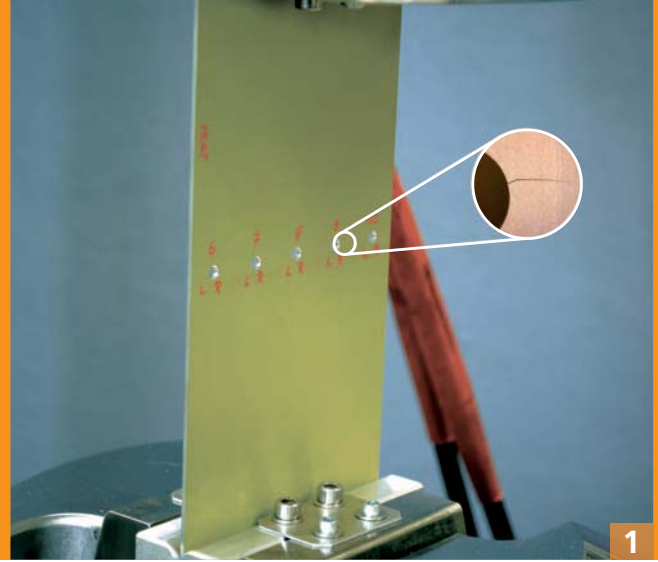
Prof. Martina Zimmermann

Werkstoff- und Bauteilprüfung

☎ +49 351 83391-3573

✉ martina.zimmermann@iws.fraunhofer.de





ZUVERLÄSSIGKEIT VON NEUARTIGEN VERBUNDLAMINATEN

Faser-Metall-Lamine (FML) sind hybride Leichtbaustrukturen, bestehend aus einem schichtweisen Verbund von Metall und faserverstärktem Kunststoff. Das glasfaserverstärkte Aluminium wird vorwiegend in der Rumpfstruktur von Flugzeugen eingesetzt und basiert aktuell auf einer Al-Mg-Cu-Legierung in Verbindung mit imprägnierten Glasfasermatten (Prepregs). Dieser Verbund wird auch als »GLARE« bezeichnet.

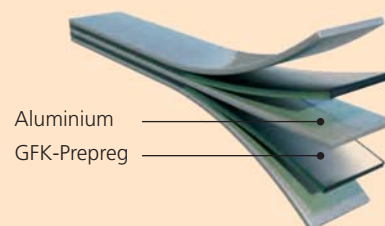
Das Forschungsprojekt »AutoGlare« verfolgt das Ziel, die Einsatzfelder der Lamine zu erweitern und deren Herstellungskosten zu senken. In diesem Zusammenhang wird der Einsatz von neuartigen Al-Mg-Sc-Legierungen (zum Beispiel AA5028) angestrebt. Diese Legierungen besitzen vergleichbare mechanische Eigenschaften bei einer reduzierten Dichte und einer verbesserten Korrosionsbeständigkeit. Zur Nutzungsfreigabe im Luftfahrtsektor gilt es, diese vielversprechenden mechanischen Eigenschaften des Grundwerkstoffes auch im Laminatverbund nachzuweisen.

Realitätsnahe Versuchsbedingungen

Aufgrund des avisierten Einsatzgebietes erfolgte die Charakterisierung des Laminates am Fraunhofer IWS insbesondere hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit und der Schadenstoleranz. Der Einsatz einer speziell entwickelten Probengeometrie (Fünf-Loch-Proben) erlaubt komplexe Untersuchungsszenarien bei realitätsnahen Versuchsbedingungen. Im Vergleich zu dem bekannten »Glare« zeigte das FML mit der AA5028-Legierung einen tendenziell erhöhten Widerstand gegenüber Rissentstehung und -ausbreitung. Ab einer Risslänge von circa einem Millimeter hat sich ein stabiles Risswachstum eingestellt, wodurch die Restlebensdauer einer rissbehafteten Struktur gut vorhergesagt werden kann. Darüber hinaus liegt auch das Niveau der quasistatischen Restfestigkeit des untersuchten FMLs circa 10 Prozent höher als bei dem derzeit industriell verwendeten Laminat.

Durch die Kombination aus der um etwa 3,5 Prozent reduzierten Dichte und den deutlich verbesserten Festigkeitseigenschaften eröffnen sich für das innovative Laminat neue Einsatzmöglichkeiten in der Rumpfstruktur von Flugzeugen und in anderen Industriezweigen.

Schichtaufbau des untersuchten Faser-Metall-Laminates



1 FML-Ermüdungsversuch zur Bestimmung der Ermüdungseigenschaften

Gefördert vom



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
FKZ: 20W1517D

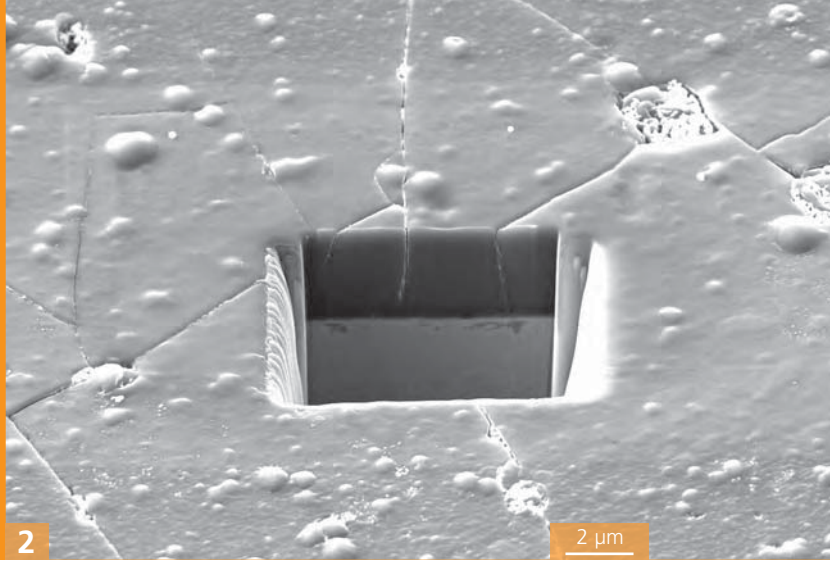
KONTAKT

Dipl.-Ing. Robert Kühne
Werkstoff- und Bauteilprüfung

☎ +49 351 83391-3156

✉ robert.kuehne@iws.fraunhofer.de





2

2 μm

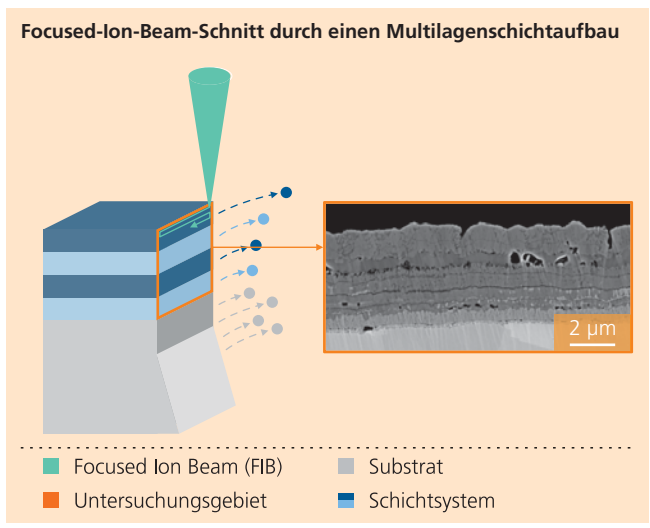
SCHICHT- UND SCHADENSANALYTIK MITTELS FOCUSED-ION-BEAM-TECHNOLOGIE

Die Zuverlässigkeit neuartiger Material- und Schichtsysteme hängt unmittelbar von deren Fertigungshistorie und dem damit verbundenen Eingriff in die Mikrostruktur ab. Maßgeschneiderte Eigenschaften wie Verschleißbeständigkeit oder Ermüdungsfestigkeit lassen sich nur dann gezielt einstellen, wenn die Wirkungen auf den Werkstoff oder das Schichtsystem bekannt sind, die von der Prozesskette verursacht werden.

Ob beim Laserstrahlschweißen, PVD-Beschichten oder bei der generativen Fertigung – die am Fraunhofer IWS entwickelten Prozesstechnologien führen meist zu einer thermisch beeinflussten Zone im Material, die einen signifikanten Einfluss auf die Bauteileigenschaften ausüben kann. Ist der Zusammenhang zwischen Prozess, Gefüge und Eigenschaften nicht verstanden, kann dies den frühzeitigen Ausfall einer Komponente zur Folge haben. Der thermische Eintrag beschränkt sich gerade bei laserbasierten Prozessen oft auf eine Mikro- bis Submikrometerskala. Sollen die Anbindungsmechanismen eines Schichtsystems auf einem Substrat aufgeklärt werden, erfordert dies sogar eine Zielpräparation auf der Nanometerskala. Das am IWS vorhandene Analytik-Leistungsspektrum wurde um ein Focused-Ion-Beam (FIB) aufgerüstet. Dies erlaubt es den Forschern, die zuvor


angesprochenen Fragestellungen aufzuklären. Damit nimmt das FIB direkten Einfluss auf die Prozessentwicklung. Die Steuerung eines fokussierten Ionenstrahls lässt sich mit der eines Rasterelektronenmikroskops (REM) vergleichen. Allerdings besteht der über die Probe rasternde Strahl aus Galliumionen anstatt aus Elektronen. Dadurch ermöglicht ein FIB einen gezielten lokalen Materialabtrag. In Kombination mit dem REM sowie weiteren Analysewerkzeugen wie der »energy dispersive X-ray spectroscopy« oder der »electron backscatter diffraction« lässt sich eine dreidimensionale Werkstoffstruktur abbilden. So erlaubt die FIB-Technologie, das Werkstoffgefüge unterhalb einer Anrissstelle sichtbar zu machen und damit auch aufzuklären, ob zum Beispiel eine lokale Gefügeinhomogenität in einem Schichtsystem oder einer additiv gefertigten Struktur die Ursache für einen makroskopischen Schadensbefund darstellt.

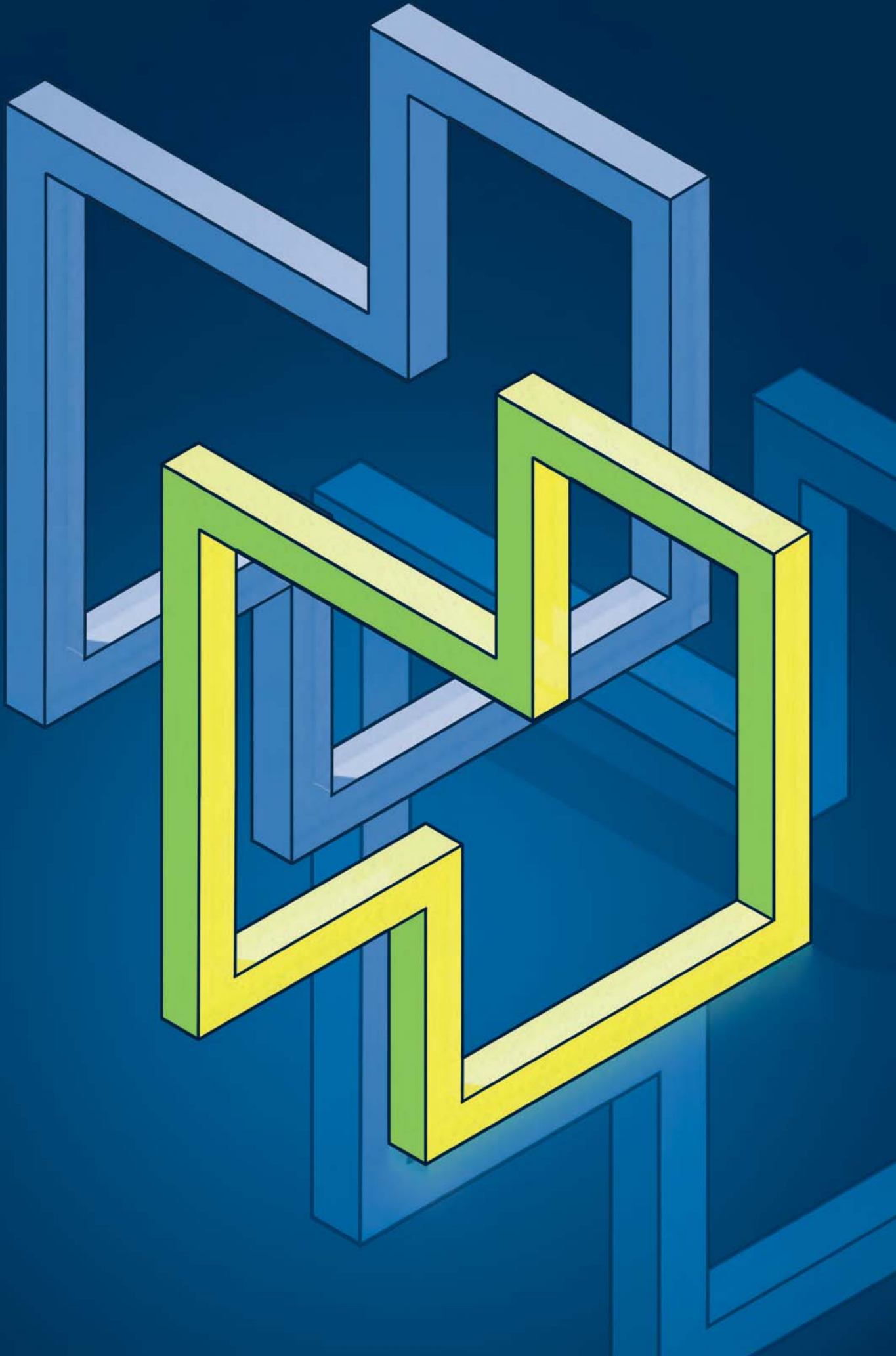
- 2 Die Anwendung der FIB-Technologie ermöglicht es, die Rissbildung in einer taC-Schicht nach wiederholter Indentierung unterhalb der Probenoberfläche sichtbar zu machen.



KONTAKT

Dr. Jörg Bretschneider
 Werkstoff- und Schadensanalytik
 ☎ +49 351 83391-3217
 ✉ joerg.bretschneider@iws.fraunhofer.de





ZENTREN UND NETZWERKE

KOOPERATIONSPARTNER

ZENTREN

AUSSENSTELLEN

NETZWERKE

**FRAUNHOFER-VERBUND
LIGHT & SURFACES**

KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT

IMPRESSUM

KOOPERATIONSPARTNER



CENTER FOR COATINGS AND DIAMOND TECHNOLOGIES (CCD)

In der heutigen Wirtschaftslage kompetitiv zu bleiben erfordert innovative Produkte und Herstellungslösungen. Im Speziellen zielen die Projekte des Fraunhofer CCD auf Beschichtungs- und Technologielösungen ab, die Prozesse, Materialien und systemtechnisches Know-how mit wissenschaftlicher Exzellenz, Qualitäts- und Projektmanagement in Einklang bringen. Das Angebot umfasst das Beschichten und Testen von Materialien für Kundenanwendungen, Forschungs- und Entwicklungsprojekte für die Produktentwicklung, Beratungs- und Ingenieursleistungen, Materialcharakterisierungen sowie Systementwicklung, -integration, -installation und Support.

Das Fraunhofer-Center for Coatings and Diamond Technologies CCD befindet sich in East Lansing, Michigan, auf dem Campus der Michigan State University (MSU). Seit dreizehn Jahren arbeitet das Fraunhofer IWS mit dem Fraunhofer CCD und der MSU auf den Forschungsfeldern Dünnschicht- und Diamanttechnik zusammen.

KONTAKT: Prof. Dr. Thomas Schülke, ☎ +1 517 432-8173, ✉ tschuelke@fraunhofer.org



CENTER FOR LASER APPLICATIONS (CLA)

Das Fraunhofer-Center for Laser Applications CLA ist das Ergebnis der Bündelung aller Laser-Aktivitäten von Fraunhofer USA in einem gemeinsamen Zentrum. Seit 1994 entwickelt dieses in den USA neue Laserapplikationen für eine große Vielfalt an industriellen Anwendern. Mit seiner Expertise auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung und seinen Laseranlagen auf dem neuesten Stand der Technik unterstützt das Fraunhofer CLA dabei, Prozesslösungen für den individuellen Nutzen zu entwickeln. Im Mittelpunkt der Aktivitäten steht die Bereitstellung von Lasertechnologien und Systemen. Das Center bietet eine breite Palette von Laserprozessen einschließlich Schweißen,

Schneiden, Bohren, Beschichten, Wärmebehandeln, Oberflächenmarkieren und -strukturieren sowie additiver Fertigung. Ein weiteres Spezialgebiet ist die Entwicklung von Systemtechnik zur Prozessüberwachung und Steuerung. Außerdem entwickeln die Forscher am Fraunhofer CLA Bearbeitungsköpfe zum Auftragschweißen und Generieren. Das CLA befindet sich in Plymouth, Michigan in der Nähe von Detroit.

KONTAKT: Craig Bratt, ☎ +1 734 738-0550, ✉ cbratt@fraunhofer.org

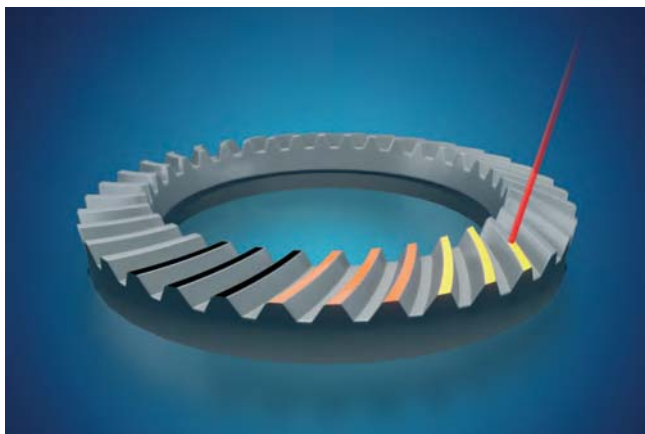
FRAUNHOFER PROJECT CENTER – WROCLAW CENTER OF EXCELLENCE FOR MANUFACTURING

In Partnerschaft mit der Wrocław University of Technology gegründet, erweitert das »Fraunhofer Project Center for Laser Integrated Manufacturing« das Kooperationsnetzwerk des Fraunhofer IWS nach Osteuropa und nimmt eine Vorreiterrolle in der deutsch-polnischen Zusammenarbeit ein. Die wichtigsten Zielstellungen der Kooperation bestehen einerseits in der Auftragsforschung und in Entwicklungen für polnische Industriekunden. Andererseits treiben die Kooperationspartner den Ausbau des Center-Ausbildungsangebots voran und fördern den grenzüberschreitenden wissenschaftlichen Austausch.

Am Fraunhofer Project Center in Wrocław wird an neuen Methoden und Technologien für optische Messungen und Oberflächeninspektionen an schwierig zu qualifizierenden Bauteilen gearbeitet. Die Aktivitäten im Reverse Engineering sind eng verknüpft mit der Digitalisierung von physischen Objekten und der Erstellung von 3D-Computermodellen. Außerdem besteht in der Lasermaterialbearbeitung sowie dem Rapid-Prototyping und -Tooling ein enger Austausch mit dem Kompetenzfeld Materialprüfung des Fraunhofer IWS.



KONTAKT: Prof. Dr. Edward Chlebus, TU Wrocław, ☎ +48 71 320 2705, ✉ edward.chlebus@pwr.wroc.pl
Prof. Dr. Karol Kozak, ☎ +49 351 83391-3717, ✉ karol.kozak@iws.fraunhofer.de

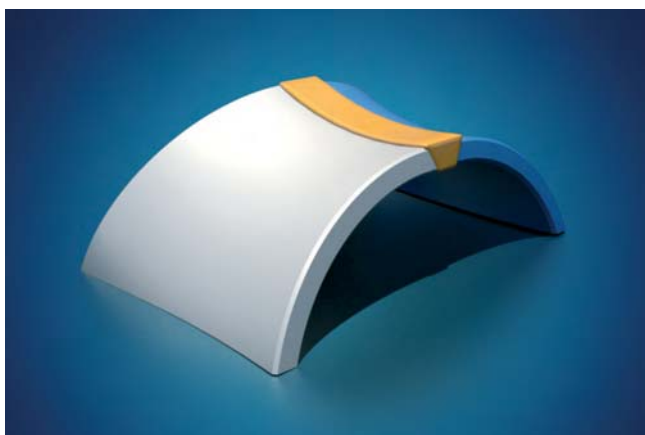


ZENTRUM THERMISCHE OBERFLÄCHENTECHNIK

Das Fraunhofer IWS verfügt über eine europaweit einzigartige Verfahrensbreite für das Beschichten oder Veredeln jeglicher Oberflächen. Das Zentrum Thermische Oberflächentechnik bündelt diese ausgeprägte Werkstoffkompetenz, um Komplettlösungen für komplexe Aufgabenstellungen aus den unterschiedlichsten Branchen zu entwickeln und die Ergebnisse zügig in die Praxis zu übertragen. Dadurch ermöglicht das Zentrum nicht nur Laborlösungen. Anwender profitieren insbesondere von der Erfahrung des Fraunhofer IWS, die Technologieentwicklungen inklusive applikationsspezifischer Hard- und Softwarekomponenten in die industrielle Produktion zu übertragen. Das

Verfahrensspektrum der thermischen Oberflächentechnik kommt unter anderem in der Automobilindustrie und Energietechnik, Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik, Öl- und Gasindustrie sowie im Werkzeug- und Maschinenbau zum Einsatz. Das Teilespektrum reicht von Abmessungen weniger Millimeter bis hin zu mehreren Metern.

KONTAKT: Prof. Dr. Christoph Leyens, ☎ +49 351 83391-3242, ✉ christoph.leyens@iws.fraunhofer.de



ZENTRUM TAILORED JOINING

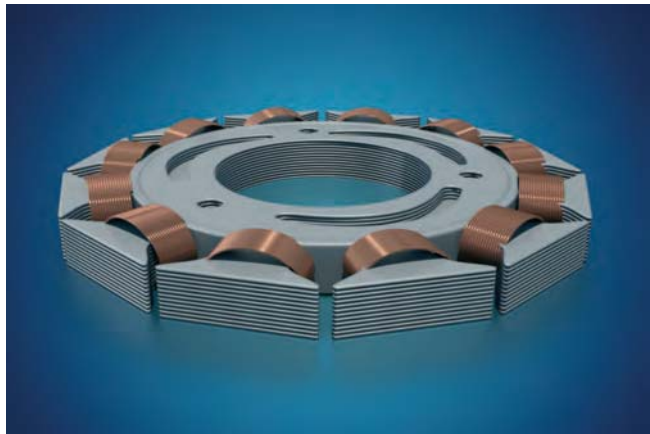
Das Fügen stellt eine zentrale Herausforderung der Produktion und oft einen signifikanten Kostenfaktor dar. Um wichtige Verbesserungen und Impulse liefern zu können, entstand in Kooperation mit der TU Dresden und weiteren Partnern das fügetechnische Zentrum »Tailored Joining«. Ziel ist es, Anwendern einen Überblick über Möglichkeiten und Grenzen diverser Fügeverfahren zu geben, einen direkten Vergleich zu ermöglichen, Neuentwicklungen kompakt darzustellen und industriebezogene Lösungen aufzeigen. Der Partner TU Dresden konzentriert sich am Lehrstuhl Fügetechnik und Montage auf Verfahren sowie Werkzeuge im thermischen, umformtechnischen und

mechanischen sowie im Hybridfügen und beschäftigt sich mit der ganzheitlichen Planung von Montage-, Handhabungs- und Fügeprozessen. Die Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) mit ihrem Know-how in Elektronenstrahlschweißen unterstützt den Dresdner Verbund seit 2014 aktiv. Ein besonderes Augenmerk legen alle Partner auf eine wertungsfreie Gegenüberstellung der verschiedenen Lösungen, sodass Anwender direkte Entscheidungshilfen für ihr jeweiliges Anliegen erhalten.

KONTAKT: Dr. Jens Standfuß, ☎ +49 351 83391-3212, ✉ jens.standfuss@iws.fraunhofer.de

AZENTRUM ENERGIEEFFIZIENZ

Der sparsame Umgang mit Energie und die Weiterentwicklung ressourcenschonender Technologien ist ein zentrales Anliegen, das im Zentrum Energieeffizienz im Mittelpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeit steht. Dieses bündelt alle Kräfte, um das Thema Energieeffizienz als einen festen Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsarbeit weiter zu etablieren. Um die Wahrnehmung für die Energieeffizienz über die Instituts- grenzen hinaus zu schärfen und Neuentwicklungen zu beschleunigen, gründete das Fraunhofer IWS zum Beispiel im Jahre 2009 das »Dresdner Innovationszentrum Energieeffizienz DIZE^{EFF}«. Darin bearbeiteten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Dresden und der Dresdner Fraunhofer-Institute in zahlreichen Projekten gemeinsam Forschungsaufgaben in den Themenfeldern Hochleistungssolar- und Brennstoffzellen, Hochtemperaturenergie-technik, Leichtbau sowie effizientere Elektromotoren, Fertigung und energiesparende Displays.



KONTAKT: Prof. Dr. Ralf Eckhard Beyer, ☎ +49 351 83391-3420, ✉ ralf-eckhard.beyer@iws.fraunhofer.de

ZENTRUM ADDITIVE FERTIGUNG

Paradigmenwechsel in der Fertigungstechnik: Die Bauteilherstellung in Schichten überwindet Grenzen der konventionellen Herstellung und ermöglicht komplett neue Geometrien. Dem großen Potenzial stehen viele ungelöste Fragestellungen gegenüber. Im engen Schulterschluss von Wissenschaft und Wirtschaft steht das Zentrum Additive Fertigung dafür, verfahrensübergreifende Werkstoff- und Fertigungslösungen für herausfordernde Produkte zu erarbeiten. Mit seinem »Zentrum für Additive Fertigung Dresden« (AMCD) etablierte das Fraunhofer IWS gemeinsam mit der TU Dresden ein international anerkanntes Kompetenzzentrum, das verfahrensübergreifend Werkstoff- und Fertigungslösungen für herausfordernde Produkte entwickelt. Das Zentrum bietet eine ideale Vernetzungsplattform für die Wirtschaft mit der universitären Grundlagenforschung und der anwendungsorientierten Forschung in einem sich rasant entwickelnden Hochtechnologiefeld.



KONTAKT: Prof. Dr. Frank Brückner, ☎ +49 351 83391-3452, ✉ frank.brueckner@iws.fraunhofer.de

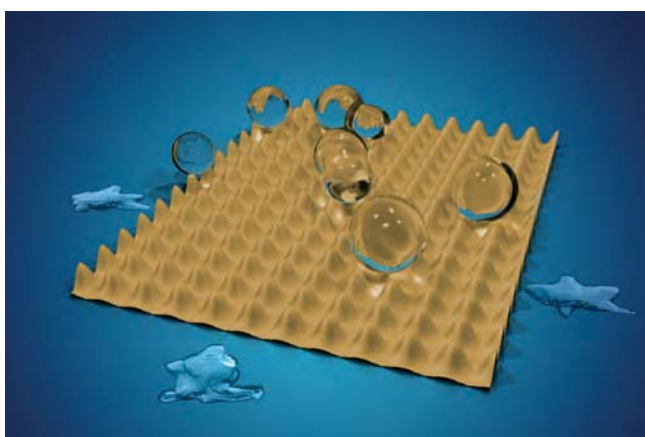


ZENTRUM BATTERIEFORSCHUNG

Technologien für neue Energiespeicher stehen im Fokus des Zentrums Batterieforschung. Die Herausforderung: kostengünstige Lösungen mit verbesserter Energiedichte für eine Vielzahl von Wachstumsmärkten zu finden. Entscheidend für die Markteinführung einer neuen Zellgeneration, aber auch für die Kostenreduktion bestehender Zelltechnologien, ist die Entwicklung kostengünstiger und skalierbarer Produktionsverfahren. Das Fraunhofer IWS etablierte daher eine Prozesskette zur Batteriezellfertigung von der Elektrodenherstellung über das Konfektionieren und Assemblieren der Elektrodenstapel bis hin zur verpackten Pouchzelle. Neben der klassischen Nass-

beschichtung von Batterieelektroden arbeiten die Forscher am vollständig lösungsmittelfreien Verarbeiten von Ausgangsmaterialien zu freistehenden Elektrodenfilmen. Die Konfektionierung der Elektroden erfolgt mittels Laserschneiden und lässt sich dadurch an verschiedene Zellformate anpassen.

KONTAKT: Dr. Holger Althues, ☎ +49 351 83391-3476, ✉ holger.althues@iws.fraunhofer.de



ZENTRUM ADVANCED MICRO-PHOTONICS (CAMP)

Laserbasierte Oberflächenmodifikation und Strukturierungsmethoden sind Inhalt des CAMP. Ziel ist es Vorteile, Möglichkeiten und Herausforderungen der Entwicklung neuer Lösungen für Systeme, Prozesse und Messtechnik aufzuzeigen. Treiber sind die aktuellen Trends im laserbasierten Mikrobearbeiten. Um Technologien in industrielle Prozesse zu transferieren, wird die gesamte Wertschöpfungskette abgebildet. CAMP zeigt übergreifende Ansätze von der Simulation über den Laserprozess und die optische Messtechnik bis zum maschinellen Lernen auf. Daher konzentriert sich das Fraunhofer IWS gemeinsam mit der TU Dresden auf unterschiedliche Anwendungen des Laser-

mikrobearbeitens und der Messtechnik. Das Zentrum greift auf eine große Auswahl aktueller Technologien mit einem breiten Anwendungsspektrum zurück, wie etwa das Mikroböhrn, -schneiden und strukturieren sowie das Lasermarkieren und Laserinterferenzstrukturieren.

KONTAKT: Dr. Udo Klotzbach, ☎ +49 351 83391-3252, ✉ udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de
Prof. Dr. Andrés-Fabián Lasagni, ☎ +49 351 83391-3007, ✉ andres-fabian.lasagni@iws.fraunhofer.de

PROJEKTGRUPPE DES FRAUNHOFER IWS AM DORTMUNDER OBERFLÄHCENTRUM (DOC®)

Für maßgeschneiderte Beschichtungen zum Einsatz in kontinuierlichen Verfahren auf Stahlband steht das DOC®. Vorrangig zielen die Entwicklungen darauf ab, Funktionen wie Korrosionsbeständigkeit, Kratzfestigkeit, elektrische Leitfähigkeit oder Reinigungseigenschaften zu verbessern. Die Entwicklungstätigkeiten der Gruppe konzentrieren sich auf die Oberflächenbeschichtung mittels PVD- und thermischen Beschichtungsverfahren sowie der Laserflächenbearbeitung. Das DOC® legt seine Schwerpunkte auf die Entwicklung leitfähiger, umformbarer Kohlenstoffschichtsysteme und Oberflächen für die Elektromobilität, unter anderem für Brennstoffzellen, Diamor®-Schichtsysteme für den Verschleißschutz auf Basis des Verfahrens »short pulsed Arc« (spArc®), modernste PVD-Hochleistungsverfahren, die Vakuum-Lichtbogendrahtspritztechnik und das großflächige Laserumschmelzen mit Hochleistungslasern zur Bandveredelung.



KONTAKT: Dr. Teja Roch, ☎ +49 231 844-3894, ✉ teja.roch@iws.fraunhofer.de

ANWENDUNGSZENTRUM FÜR OPTISCHE MESSTECHNIK UND OBERFLÄCHENTECHNOLOGIEN (AZOM)

Angesiedelt im Umfeld der Westsächsischen Hochschule Zwickau bildet das AZOM eine Brücke zwischen dem Fraunhofer IWS in Dresden und der regionalen Wirtschaft. Für Unternehmen entwickeln und erproben die Forscher industrietaugliche optische Messverfahren. Das Leistungsspektrum umfasst Sensoren für unterschiedliche Prozessparameter und -größen, aber auch komplexe Messplätze und -geräte mit Anbindung an die Datenverarbeitung der Auftraggeber. Das AZOM erweitert das Anwendungsspektrum des Fraunhofer IWS in der Oberflächenanalytik.



Gleichzeitig erhalten eine Reihe von Studenten und Absolventen der Hochschule in Zwickau die Möglichkeit in Industrieprojekten mitzuarbeiten. Das in den neuen Bundesländern einzigartige Fraunhofer-Anwendungszentrum verfügt über Laborräume, die mit optischen Tischen, Systemkomponenten und zahlreichen Messgeräten sowie Systemen zur Oberflächenanalyse ausgestattet sind.

KONTAKT: Prof. Dr. Peter Hartmann, ☎ +49 171 9066-350, ✉ peter.hartmann@iws.fraunhofer.de

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 72 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 25 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,3 Milliarden Euro. Davon fallen knapp 2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 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.

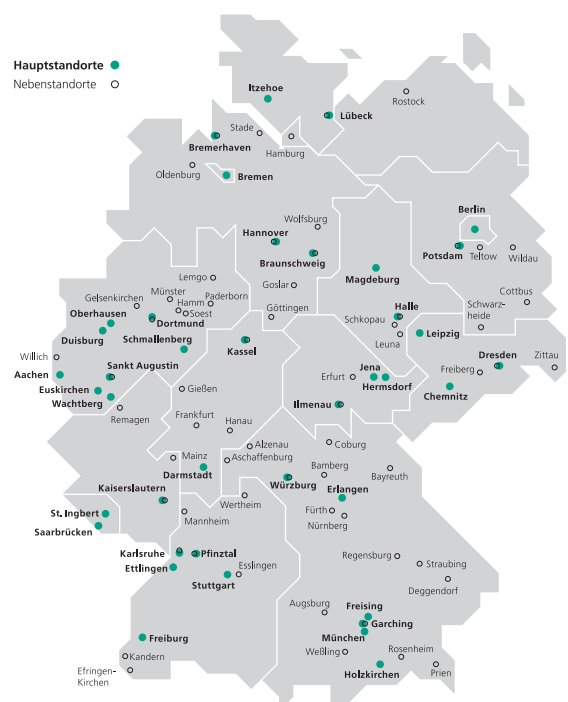
Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

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.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Exzellente Kooperation: Seit dem Beginn im Jahr 1997 hat das Fraunhofer IWS die Zusammenarbeit mit den verschiedenen Lehrstühlen der TU Dresden 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 Instituts eingebunden und partizipieren an dessen technischer Ausstattung und Infrastruktur. IWS-Führungskräfte und -Mitarbeiter unterstützen die Universität in der Ausbildung von Studenten sowie Doktoranden und rekrutieren daraus ihre Nachwuchswissenschaftler.



PROF. DR. RALF-ECKHARD BEYER

*Fakultät Maschinenwesen
Institut für Fertigungstechnik*

Professur für Laser-
und Oberflächentechnik



PROF. DR. CHRISTOPH LEYENS

*Fakultät Maschinenwesen
Institut für Werkstoffwissenschaft*

Professur für Werkstofftechnik



PROF. DR. ANDREAS LESON

*Fakultät Maschinenwesen
Institut für Fertigungstechnik*

Professur für Nano-
und Schichttechnologie



PROF. DR. ANDRÉS-FABIÁN LASAGNI

*Fakultät Maschinenwesen
Institut für Fertigungstechnik*

Professur für laserbasierte Methoden der
großflächigen Oberflächenstrukturierung



PROF. DR. MARTINA ZIMMERMANN

*Fakultät Maschinenwesen
Institut für Werkstoffwissenschaft*

Professur für Werkstoffmechanik
und Schadensfallanalyse



PROF. DR. STEFAN KASKEL

*Fakultät Mathematik und Naturwissen-
schaften Fachrichtung Chemie und
Lebensmittelchemie*

Professur für anorganische Chemie



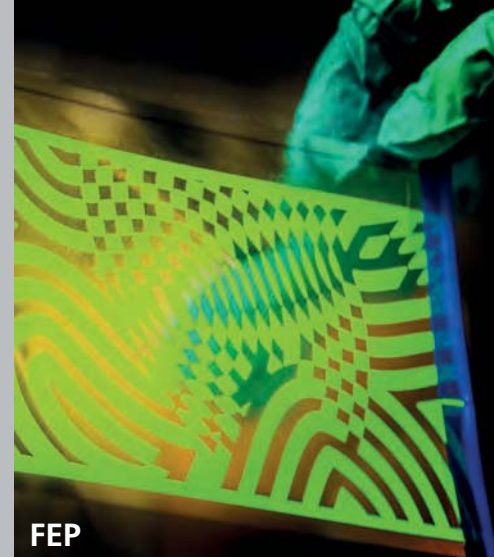
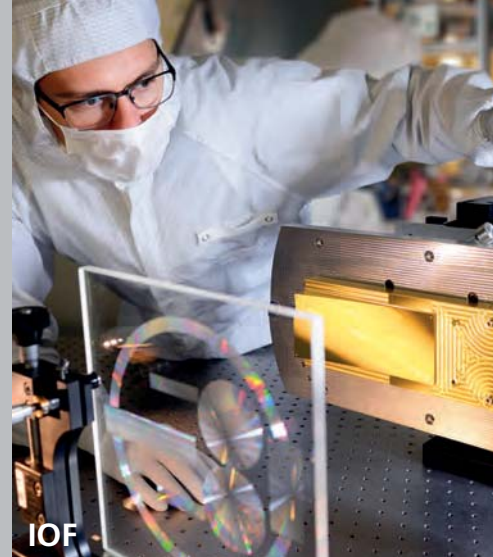
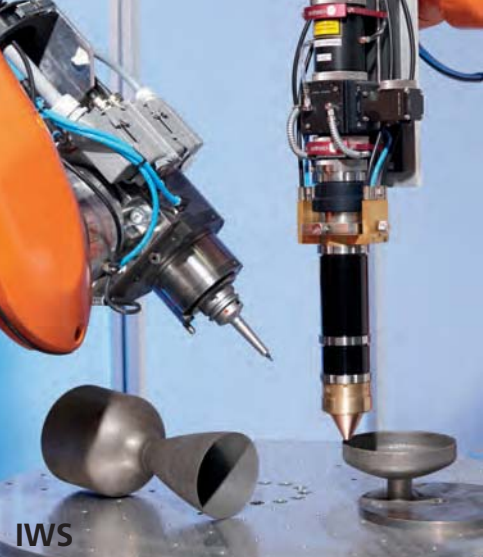
PROF. DR. KAROL KOZAK

*Medizinische Fakultät
Klinik für Neurologie*

Professur für Datenverwaltung
und Datenauswertung



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**



FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

KOMPETENZ DURCH VERNETZUNG

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

KERNKOMPETENZEN DES VERBUNDS

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

KONTAKT

Prof. Dr. Reinhart Poprawe (Verbundvorsitzender)

☎ +49 241 8906-110

Dr.-Ing. Arnold Gillner (Geschäftsführer)

☎ +49 241 8906-148

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

Mit über 400 Patenten seit 1985 ist das Fraunhofer ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u. a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und das Rapid Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik.

🌐 www.ilt.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ORGANISCHE ELEKTRONIK, ELEKTRONENSTRAHL- UND PLASMA-TECHNIK FEP

Das Fraunhofer FEP arbeitet an innovativen Lösungen im Bereich der Vakuumbeschichtung, der Oberflächenbehandlung und der organischen Halbleiter. Grundlage dieser Arbeiten sind die Kernkompetenzen Elektronenstrahltechnologie, Sputtern, plasmaaktivierte Hochratebedampfung und Hochrate-PECVD sowie Technologien für organische Elektronik und IC-/Systemdesign. Unsere Technologien und Prozesse finden Anwendung im Maschinenbau, im Transportwesen, der Biomedizintechnik, der Architektur und für den Kulturguterhalt, in der Verpackungsindustrie, im Bereich Umwelt und Energie, der Optik, Sensorik und Elektronik sowie in der Landwirtschaft.

🌐 www.fep.fraunhofer.de



ILT



IST



IPM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE OPTIK UND FEINMECHANIK IOF

Das Fraunhofer IOF entwickelt innovative optische Systeme zur Kontrolle von Licht – von der Erzeugung und Manipulation bis hin zu dessen Anwendung. Unser Leistungsangebot umfasst die gesamte photonische Prozesskette vom optomechanischen und optoelektronischen Systemdesign bis zur Herstellung von kundenspezifischen Lösungen und Prototypen. Das Institut ist in den fünf Geschäftsfeldern Optische Komponenten und Systeme, Feinmechanische Komponenten und Systeme, Funktionale Oberflächen und Schichten, Photonische Sensoren und Messsysteme sowie Lasertechnik aktiv.

www.iof.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SCHICHT- UND OBERFLÄCHENTECHNIK IST

Das Fraunhofer IST bietet als innovativer FuE-Partner Lösungen in der Oberflächentechnik, die gemeinsam mit Kunden aus Industrie und Forschung erarbeitet werden. Das »Produkt« ist die Oberfläche, die durch Modifizierung, Strukturierung und/oder Beschichtung für Anwendungen primär in den folgenden Geschäftsfeldern optimiert: »Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik«; »Luft- und Raumfahrt«; »Energie und Elektronik«; »Optik« und »Life Science und Umwelt«. Die Kompetenzen des Fraunhofer IST in der Schichtherstellung und Schichtanwendung werden unterstützt durch eine entsprechende Schicht- und Oberflächenanalytik sowie durch die Simulation der vakuumbasierten Beschichtungsprozesse.

www.ist.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS

Licht und Schicht: Das Fraunhofer IWS wirkt überall dort, wo Laser- auf Oberflächentechnik trifft. Wenn es darum geht, unterschiedliche Materialien Lage um Lage aufzutragen, zu fügen, zu trennen, zu funktionalisieren oder zu analysieren, kommt das Dresdner Institut ins Spiel. Von der Entwicklung neuer Verfahren über die Integration in die Fertigung bis hin zur anwendungsorientierten Unterstützung reicht das Angebot – alles aus einer Hand. Das Fraunhofer IWS stellt sich den Herausforderungen der Digitalisierung. Der Fokus liegt auf der Forschung und Entwicklung von Lösungen für „Industrie 4.0“.

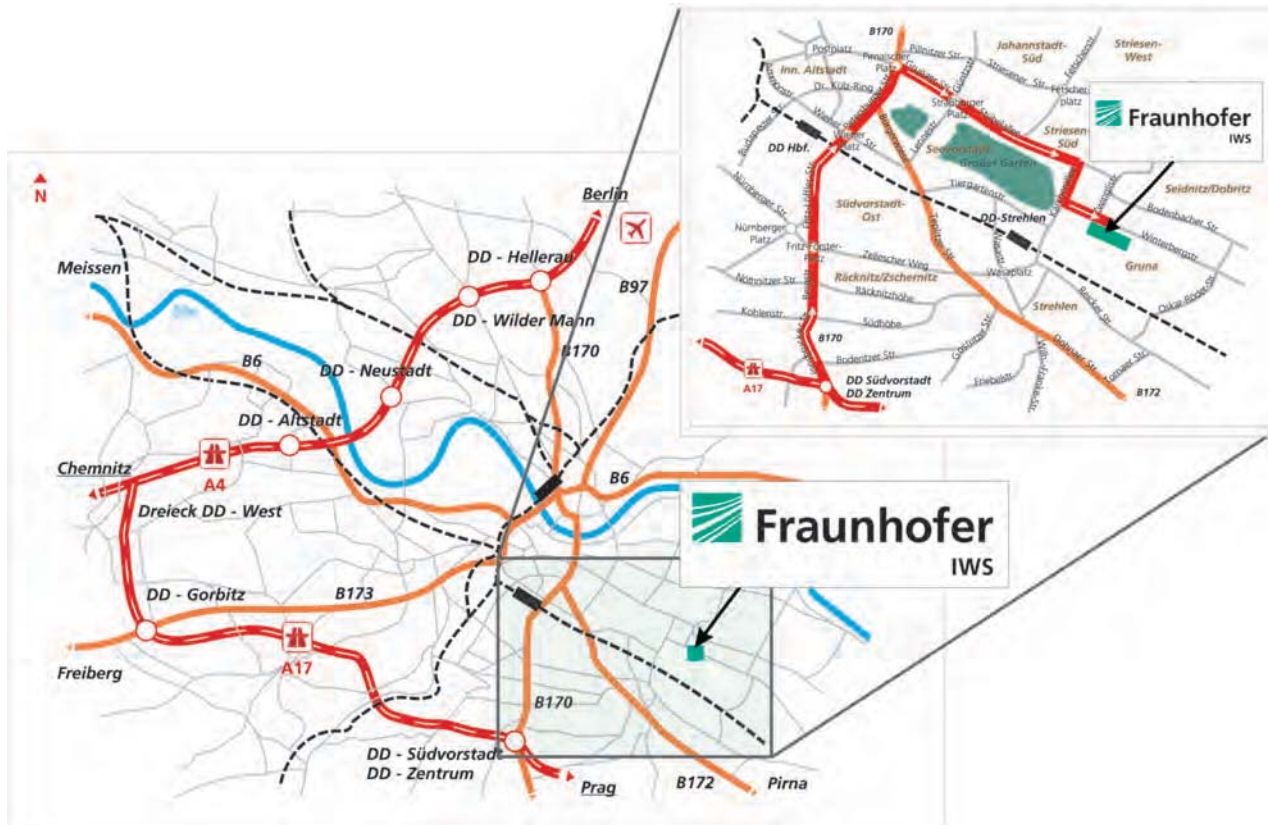
www.iws.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE MESSTECHNIK IPM

Das Fraunhofer IPM entwickelt maßgeschneiderte Messtechniken, Systeme und Materialien für die Industrie. Dadurch ermöglichen wir unseren Kunden, den Energie- und Ressourceneinsatz zu minimieren und gleichzeitig Qualität und Zuverlässigkeit zu maximieren. Fraunhofer IPM macht Prozesse ökologischer und gleichzeitig ökonomischer. Langjährige Erfahrungen mit optischen Technologien und funktionalen Materialien bilden die Basis für Hightech-Lösungen in der Produktionskontrolle, der Materialcharakterisierung und -prüfung, der Objekt- und Formerfassung, der Gas- und Prozesstechnologie sowie im Bereich Funktionelle Materialien und Systeme.

www.ipm.fraunhofer.de

KONTAKTADRESSEN UND ANFAHRT



Mit dem Auto (ab Autobahn):

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

Mit der Straßenbahn (ab Dresden-Hauptbahnhof):

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

Mit dem Flugzeug:

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

Post-Adresse:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff-
und Strahltechnik IWS Dresden
Winterbergstraße 28
01277 Dresden

Internet-Adresse:

www.iws.fraunhofer.de

Telefon: +49 351 83391-0

Fax: +49 351 83391-3300

E-Mail: info@iws.fraunhofer.de

Redaktion und Koordination: Dipl.-Soz. Wiss. Markus Forytta
B.Sc. Matti Hilbert

Gestaltung: René Zenner
Kerstin Zenner

Bildnachweis: S. 4, 5, 26, 34, 48, 56, 64, 72, 78 Förmstermartin.de, Martin Förster
S. 8, 10 IWS Dresden/Shutterstock
S. 14-15 DDpix.de, Marcel Quietzsch
S. 19, 46 Jürgen Jeibmann
S. 38 IWS Dresden/pixabay.com
S. 51 MPI/Athena collaboration
S. 53 Camelicon.de, Carl Ahner
S. 68 IWS Dresden/MEV-Verlag
S. 77 Heliatek GmbH, Tim Deusen
S. 81 Frank Höhler
S. 86 Fraunhofer USA
S. 87 Wrocław University of Technology
S. 93 Lothar Sprenger
S. 94 Fraunhofer IOF, FEP
S. 95 Fraunhofer IST, ILT, IPM

alle anderen Abbildungen

Fraunhofer IWS



www.iws.fraunhofer.de