



Fraunhofer Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

Jahresbericht 2005



Internet: www.iws.fraunhofer.de



Fraunhofer Institut
Werkstoff- und
Strahltechnik

Jahresbericht 2005





Prolog

Redaktion: Das Jahr 2004 war durch die Fertigstellung des IWS-Anbaus geprägt. Sie erhofften sich hierdurch eine deutliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen sowie weiteres Wachstum für die Zukunft. Haben sich Ihre Erwartungen in diesem Jahr erfüllt?

Prof. Beyer: Auf jeden Fall. Die letzten neuen Labore wurden in Betrieb genommen, so ist beispielsweise unsere Spritztechnik seit Mitte dieses Jahres nach 18monatiger Pause wieder voll im Einsatz, im Herbst wurde unser VR-Labor fertiggestellt. Nun sind wir wieder voll und ganz betriebsbereit, die besten Voraussetzungen, um mit neuen Energien das nächste Jahr zu beginnen.

Redaktion: Aber sehr gute Arbeitsbedingungen und neue Labore führen ja nicht unweigerlich zu einem konsolidierten Haushalt und zu Aufschwung, zumal vor allem auch äußere Faktoren einen nicht unwesentlichen Einfluss darauf haben. Wie steht das IWS also wirtschaftlich da?

Prof. Beyer: Das Jahr 2005 war noch stärker durch relativ leere öffentliche Kassen geprägt als das letzte Jahr. Dies hatte zur Folge, dass unsere Erträge im öffentlichen Bereich deutlich zurückgingen und im wesentlichen durch EU-Projekte getragen wurden. Da diese Entwicklung jedoch vorhersehbar war, hatten wir bereits im Januar begonnen, unsere Kosten zu reduzieren. Als Ergebnis können wir zum Jahresende einen ausgeglichenen Haushalt vorweisen.

Redaktion: Ein Fraunhofer-Institut wird immer auch daran gemessen, wie erfolgreich Forschungsergebnisse in die industrielle Fertigung überführt werden konnten. Gab es auch in diesem Jahr Highlights, auf die Sie besonders stolz sind?

Prof. Beyer: Aber natürlich. Zu den in die industrielle Fertigung überführten Verfahren gehören unter anderem vier Entwicklungen zum Laserhärten, eine Kombinationslösung zum Beschichten und Härten sowie ein Verfahren zum Laserschweißen mit Zusatzmaterial. Besonders stolz sind wir auf die Entwicklung eines Messsystems zur Abgasüberprüfung, welches die online-Prozessregelung einer CVD-Anlage ermöglicht. Dieses Messsystem wurde in einem großen Unternehmen der Mikroelektronikindustrie installiert.

Redaktion: Seit Ende November ist das IWS in vieler Munde, Ihr Faserlaserworkshop bewegt die Expertengemüter und scheint die Faserlaserdiskussion in Europa so richtig in Schwung gebracht zu haben. Sehen Sie sich hier in einer Art Vorreiterrolle?

Prof. Beyer: Ich denke, dass die Entwicklung von Faserlasern zu einem Quantensprung in der Lasermaterialbearbeitung geführt hat, und selbstverständlich jubelt da ein bisschen das Forscherherz, wenn man relativ unbekanntes Forschungsland betritt, an neuesten Entwicklungstrends teilhaben und sie vor allem mitbestimmen kann. Das empfinden sicherlich die Kollegen vom Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik VOP sowie meine Mitarbeiter ebenso. Auf jeden Fall wird der Faserlaser mit all seinen Anwendungsmöglichkeiten die Arbeit in unserem Institut nachhaltig beeinflussen.

Redaktion: Das klingt ja schon fast wie ein Startschuss ins nächste Jahr.

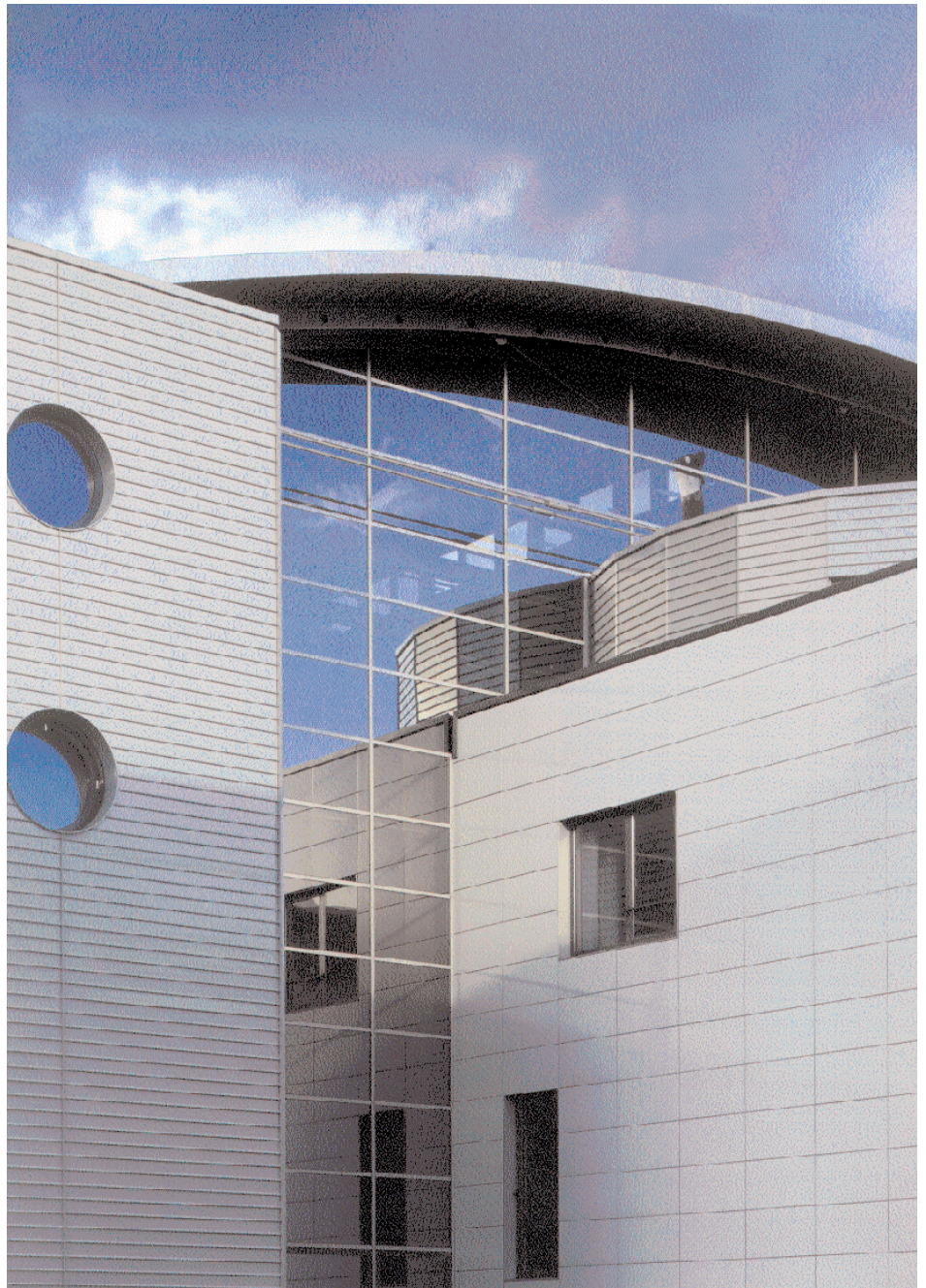
Prof. Beyer: Genau, denn es wird wohl ein sehr spannendes Jahr, in das wir voller Optimismus starten.

Redaktion: Haben Sie vielen Dank für das Gespräch.

Tolle, lege! Tolle, lege!

Nimm und lies!
Augustinus





**Fraunhofer-Institut
für Werkstoff- und Strahltechnik IWS**

Winterbergstr. 28
01277 Dresden

Telefon: 0351 / 2583 324
Fax: 0351 / 2583 300

E-mail: info@iws.fraunhofer.de
Internet: www.iws.fraunhofer.de

Prolog	3
Inhalt	5
Highlights im Jahr 2005	6
Das Institut im Profil	8
Kurzporträt	8
Organisation und Ansprechpartner	10
Anbindung an die TU Dresden	11
Zentren und externe Projektgruppen	12
Ausstattung	16
Das Institut in Zahlen	18
Kuratorium und Gremien	20
Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	21
Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik VOP	22
Forschungs- und Entwicklungsangebote	24
Füge- und Randschichttechnologien	24
Laserabtragen und -trennen, Systemtechnik	38
Thermische Beschichtungsverfahren	46
CVD-Dünnschichttechnologie	54
PVD-Dünnschichttechnologie	62
Röntgen- und EUV-Optik	70
Marketing	78
Simulation und Grundlagen	82
Namen, Daten und Ereignisse	85
Diplomarbeiten und Dissertationen	85
Vorlesungen und Mitarbeit in Gremien	86
Preise des IWS 2005	87
Besondere Ereignisse	88
Messebeteiligungen	89
Patente und Marken	91
Veröffentlichungen	92
Tagungsvorträge	96
Informationsservice	100
Kontaktadressen und Anfahrt	101

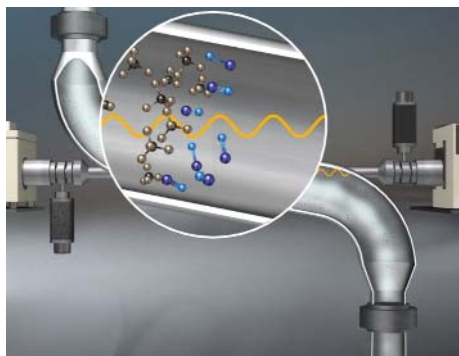


Bundesministerin Bulmahn zu Gast im DOC

»Wir denken Stahl weiter.« Mit diesem Slogan begrüßte Dr. Michael Steinhorst am 14. Juli 2005 den Gast aus Berlin. Frau Bulmahn hatte sich das DOC als eines ihrer Ziele auf der Innovationstour im aktuellen Einstein-Jahr ausgewählt. Das IWS unterhält eine Außenstelle am Dortmunder OberflächenCentrum der ThyssenKrupp Stahl AG, dessen Geschäftsführer Steinhorst Stahl als High-Tech-Produkt präsentierte. Er bietet aufgrund seiner vielfältigen Legierungsmöglichkeiten Chancen wie kaum ein zweiter Werkstoff.



Bundesforschungsministerin Edelgard Bulmahn im Gespräch mit IWS-Mitarbeitern in der Fraunhofer-Projektgruppe im Dortmunder OberflächenCentrum



Funktionsprinzip des in die Industrie überführten in-situ-Multigassensors ISPROM® zur kontinuierlichen Überwachung prozessrelevanter Gase



Zuhörer beim Fraunhofer-Faserlaser-Workshop am IWS

1. Internationaler Fraunhofer-Workshop »Faserlaser«

Am 22. November 2005 fand im Fraunhofer IWS Dresden der erste Fraunhofer-Workshop »Faserlaser« statt. Nachdem Faserlaser in den letzten Jahren vorrangig im Bereich der Telekommunikation eingesetzt wurden, stehen nun Systeme im Multikilowattbereich für die Materialbearbeitung zur Verfügung. Diese neuen Möglichkeiten wurden den 180 Teilnehmern des Workshops demonstriert.

ISPROM® - in-situ-Prozess-Sensor überwacht 300 mm-Waferproduktion im Dresdner Infineon-Werk

Qualität und Kosten der Waferproduktion hängen vom Einhalten optimaler Prozessbedingungen ab, die in vielen Produktionsschritten mit der Zusammensetzung der Prozessgasatmosphäre direkt korreliert. Um dies zu erreichen, wurde am Fraunhofer IWS Dresden in Zusammenarbeit mit der Firma SEMPA-Systems ein in-situ-Multigasensensor (ISPROM®) auf Basis der Infrarot-Fourier-Transformationspektroskopie (FTIR) entwickelt. Der Sensor wurde an einem CVD-Produktionstool für 300 mm-Wafer (TEOS/O₃-Prozess) im Dresdner Infineon-Werk im Dauereinsatz evaluiert.

Sächsisch-Britisches Nanotechnologie-Forum in London

Am 03. Oktober fand in London das Sächsisch-Britische Nanotechnologie-Forum unter Beteiligung von mehr als 100 Gästen aus Sachsen und Großbritannien statt. Die Veranstaltung, die als ein Höhepunkt der Projektinitiative »D Saxony UK 2005« den Freistaat Sachsen der britischen Öffentlichkeit als Kultur-, Wissenschafts- und Wirtschaftsregion näher bringen sollte, wurde von Ministerpräsident Georg Milbradt eröffnet.



Ministerpräsident Georg Milbradt zur Eröffnung des vom Fraunhofer IWS organisierten Sächsisch-Britischen Nanotechnologie-Forums

Das Fraunhofer IWS hat in enger Zusammenarbeit mit dem Nanotechnologie-Kompetenzzentrum »Ultradünne funktionale Schichten« diese Veranstaltung im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit vorbereitet, organisiert und durchgeführt.

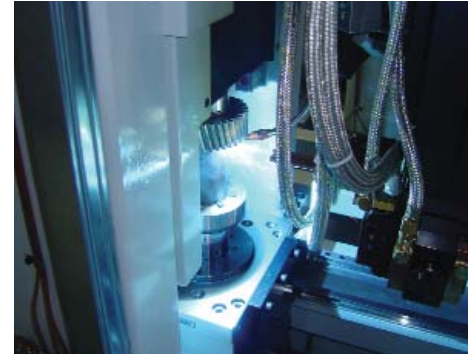


Laserstrahlschweißen - IWS-Verfahrensentwicklungen für die industrielle Fertigung



Anlage für ein vom IWS entwickeltes Laserschweißverfahren mit Zusatzwerkstoff bei ZF Gotha (Systemintegrator Arnold)

Mit den Produktionsstarts bei ZF Achsgetriebe GmbH in Gotha im September und bei Winkelmann-Palsis Motorgetriebe GmbH in Ahlen im Oktober wurden im Jahr 2005 weitere nach der Technologie des Laserstrahlschweißens gefügte Bauteile in die industrielle Anwendung überführt. Bei ZF Gotha werden beispielsweise zwei Bauteile (Differential und Hohlwelle) geschweißt; zur Qualitätssicherung wurden bereits zum zweiten Mal eine plasmaspektroskopische Überwachung des Schweißprozesses sowie ein Laserreinigungsprozess integriert.



Prozess des vom IWS entwickelten Laserstrahlschweißens mit Zusatzwerkstoff

Laserstrahlhärten - IWS-Verfahrensentwicklung für die industrielle Fertigung

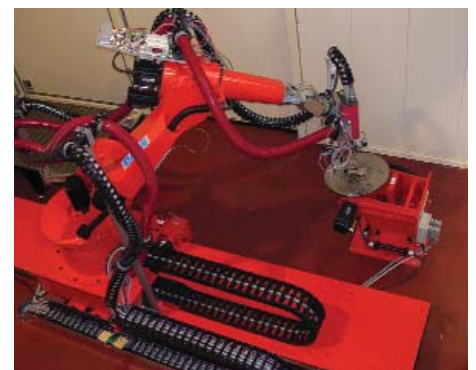
Im Rahmen des BMBF-Projektes »Integrierte Härterei« wurde im Sommer 2005 ein vom Fraunhofer IWS entwickeltes Laserhärteportal für Großwerkzeuge bei der BMW Fahrzeugtechnik GmbH Eisenach in Betrieb genommen. Mit dieser Anlage können Werkzeuge nach der spanenden Bearbeitung zeitnah und kostengünstig gehärtet werden.



IWS-Verfahrensentwicklung: Laserhärteportal bei BMW Eisenach

Roboter zum Laserhärten und Laserauftragschweißen

Die Firma ALOtec Dresden GmbH und das Fraunhofer IWS Dresden konnten im Jahr 2005 einen Roboter für die Schweizer Härterei Gerster AG in Egerkingen in Betrieb nehmen, der neben dem Laserauftragschweißen auch Bauteile temperaturgeregt härten kann. Das System wird durch folgende Zusatz-Module aus der IWS-lasertronic®-Familie ergänzt: lasertronic® LompocPro zur Laserleistungsregelung, E-MaqS-Pyrometer zur Temperaturerfassung und DCAM zur off-line-Programmierung.



Verfahrens- und Systementwicklung am IWS: Roboter zum Laserhärten und Laserauftragschweißen für die Härterei Gerster AG (Schweiz)



Unser Ziel:

Problemstellungen kundengerecht lösen!
Diese sind erst dann gelöst, wenn unser Kunde mit der erarbeiteten Lösung Geld verdient. Hieran arbeiten wir.

Keine Begeisterung sollte größer sein als die nüchterne Leidenschaft zur praktischen Vernunft.

Helmut Schmidt

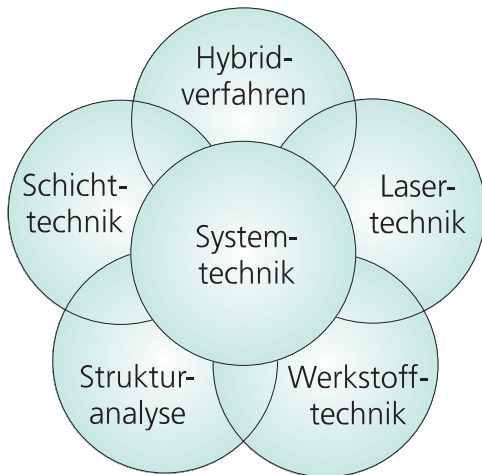
Kurzporträt

Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik betreibt anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung auf den Gebieten der Laser- und Oberflächentechnik.

Schwerpunkte sind:

- das Laserstrahlfügen, -trennen und -abtragen,
- die Oberflächenbehandlung sowie
- das Aufbringen von dünnen Schichten zur Vergütung von Oberflächen.

Durch die enge Zusammenarbeit mit Anlagen- und Systemanbietern können wir unseren Kunden *Problemlösungen aus einer Hand* anbieten. Diese beruhen auf neuartigen Konzepten. Als Basis hierfür dient die Gesamtbetrachtung des Bearbeitungssystems, des Verfahrens sowie des Bauteilverhaltens. Die Ausstattung des Fraunhofer IWS erlaubt es, Ihr Problem mit modernster Anlagentechnik zu bearbeiten. Darüber hinaus ist es uns möglich, Pilotanlagen zu installieren und die erarbeiteten Problemlösungen an Nullserien zu erproben.



Hauptarbeitsgebiete des Fraunhofer IWS, welche es uns erlauben, Ihnen Problemlösungen aus einer Hand anzubieten

Lasertechnik

- Laserstrahlschweißen und -löten
- Laserstrahlhärten, -umschmelzen und -auftragschweißen
- Laseroberflächenveredelung mit Zusatzwerkstoffen (Legieren, Dispergieren)
- Reparaturbeschichten
- Rapid-Prototyping-Verfahren
- Laserstrahlschneiden und -trennen
- Abtragen und Reinigen (für restauratorische und technische Zwecke)
- Laserfeinbearbeitung
- Mikrostrukturieren, Gravieren und Markieren

Eine Besonderheit des Fraunhofer IWS sind die Erfahrungen in der Strahl- und Schichttechnik in Kombination mit fundiertem Werkstoff-Know-how, verbunden mit der Möglichkeit einer umfassenden Werkstoffcharakterisierung. Um Ihnen optimierte Lösungen anbieten zu können, beschäftigen wir uns neben der Strahltechnik auch mit alternativen Techniken. Dies führt zu sogenannten *Hybridverfahren*, bei denen die Vorteile der Lasertechnik mit den besonderen Eigenschaften anderer Verfahren zu einer kostengünstigen Lösung kombiniert werden.

Schichttechnik

- Dünnschichttechniken auf der Basis von Laser-, Vakuumbogen-, Sputter-, CVD- und Elektronenstrahlverfahren
- Schichtsysteme und Verfahren zur Beschichtung mit karbidischen, nitridischen und oxidischen Hartstoffen
- Beschichtungen mit superhartem amorphem Kohlenstoff
- Nanometer-Multischichten für röntgenoptische Komponenten
- Atmosphärendruck-Plasma-CVD
- Plasmaspritzen



Hybridverfahren

- Induktiv unterstütztes Laserstrahlschweißen
- Plasmaunterstützte Laserstrahlbearbeitung (Schweißen, Schmelzen)
- Laserunterstütztes Plasmaspritzen
- Abscheidung dünner Schichten durch Kombinationen von Laser-, Vakuumbogen-, Elektronenstrahl- und CVD-Verfahren
- Modellierung von Kurzzeit-Wärmebehandlungsprozessen

Werkstofftechnik

- Charakterisierung von strahlentechnologisch behandelten Werkstoffen und Bauteilen
- Verschleiß- und Ermüdungstests
- Mechanische, tribologische und optische Schichteigenschaften
- Bestimmung der Thermoschockfestigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit von Keramiken
- Schadensfallanalysen

Strukturanalyse

- Metallographische Gefügecharakterisierung
- Strukturbestimmung mittels Elektronenmikroskopie (REM, TEM)
- Charakterisierung von Oberflächeneigenschaften mit optischer Spektroskopie

Systemtechnik

- Entwicklung von Systemkomponenten, u. a. High-Speed-Strahlbewegung, flexible Strahlformung und Schweißnahtsensorik
- Prozesstechnische Optimierung von Laserbearbeitungsanlagen
- Prozessdiagnostik für PVD- und CVD-Verfahren
- Beschichtungsmodule für Atmosphärendruck-Plasma-CVD- und PVD-Verfahren

Angebot

Problemlösungen aus einer Hand:
Wir bieten Ihnen unsere Dienstleistungen auf folgenden Gebieten an:

- Beratungen,
- Machbarkeitsstudien,
- Durchführung von FuE-Arbeiten,
- Verfahrenserprobungen,
- Systementwicklungen, zusammen mit unseren Partnern,
- Aufbau und Betrieb von Pilotanlagen,
- Werkstoff- und Bauteilprüfung,
- Schadensfallanalysen sowie die
- Ausbildung von Wissenschaftlern, Ingenieuren, Anlagenbedienern und Laboranten.

Verträge

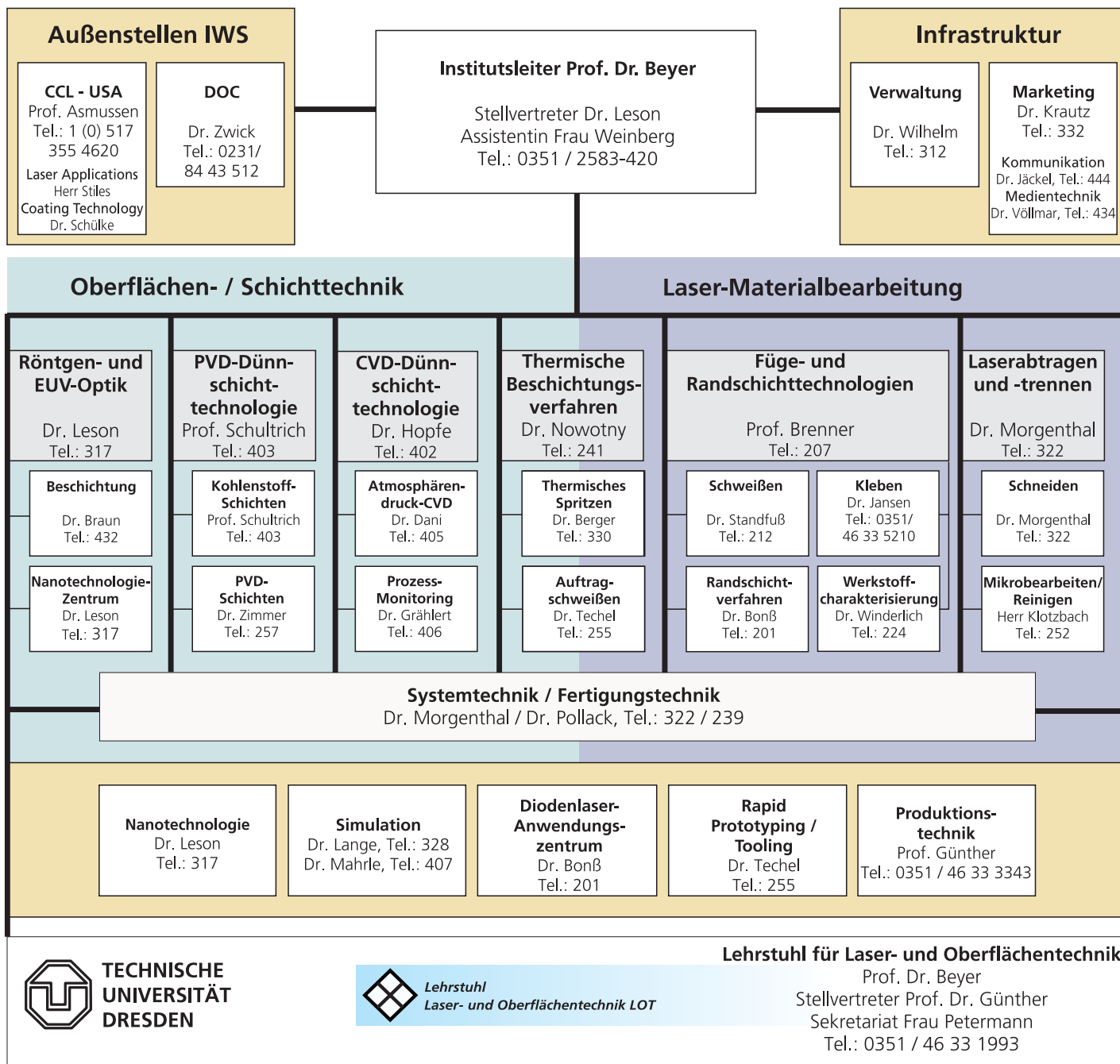
Das Fraunhofer IWS bietet Ihnen Dienstleistungs- sowie Werkverträge an und garantiert Ihnen bei Bedarf strikte Vertraulichkeit.

Geschäftsfelder	Kernarbeitsgebiete				
	Laser-Bearbeitungsverf.	Beschichtungsverfahren	Werkstofftechn./Analytik	Simulationstechnik	Systemtechnik
Fügen					
Schweißen	■		□	□	□
Löten	■		□		□
Kleben		■	□		□
Trennen	■				□
Oberflächentechnik					
Abtragen / Reinigen	■		□	□	□
Verschleißschutz	■	■	□	□	□
Reparatur	■				□
Reibungsminderung		■	□		□
Oxidationsschutz	■	■	□		□
Funktionsschichten		■	□		□
Mikrotechnik	■	■	□		□
Optik					
Röntgen-, EUV-Spiegel		■	□	□	□
IR-Optik			□	□	□
Rapid-Prototyping, Rapid-Tooling	■		□		□
Prozess-Monitoring	■	■			□

Internet: www.iws.fraunhofer.de



Organisation und Ansprechpartner



Gastfirmen im Fraunhofer IWS:

- EFD Induction GmbH Freiburg, Außenstelle Dresden
- ALotec Angewandte Laser- und Oberflächensystemtechnik GmbH Dresden
- AXO Dresden GmbH
- Arc Precision Dresden GmbH



Anbindung an die TU Dresden

Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik

2005 waren am Lehrstuhl 33 Mitarbeiter beschäftigt. Die Drittmittelträge lagen über 1,0 Mio. €.

Der Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik ist tragende Säule des Institutes für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden. Die durchgeführten Projekte sind stärker grundlagenorientiert und ergänzend zu den Arbeiten des IWS angelegt. Die Arbeitsgruppen behandeln folgende Themen:

- Fertigungsgestaltung
- Lasertechnik
- Oberflächentechnik
- Schichttechnik
- Klebtechnik
- Abtragtechnik

Folgende Vorlesungen wurden angeboten:

- Prof. Beyer: Fertigungstechnik II
- Prof. Beyer: Lasergrundlagen / Lasersystemtechnik
- Prof. Beyer: Plasmen in der Fertigungstechnik
- Prof. Beyer / Hr. Kötter: Rapid Protocoating
- Prof. Beyer: Robotik
- Dr. Leson / Prof. Beyer: Oberflächen-technik / Nanotechnologie
- Prof. Schultrich: Dünnschicht-technologie



CD zur Vorlesung Fertigungstechnik II

Kooperation Fraunhofer IWS - TU Dresden

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

Vorteile für das IWS:

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

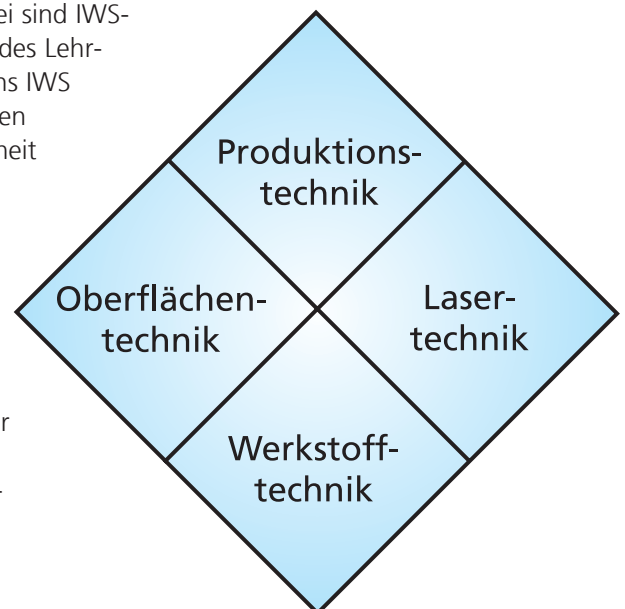
Vorteile für die TU:

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

Learning is like rowing against the current - if you stop, you'll start to drift.

Lernen ist wie Schwimmen gegen den Strom. Sobald man aufhört, treibt man zurück.

Benjamin Britten



**Lehrstuhl
Laser- und Oberflächentechnik LOT**



CD zur Vorlesung Lasertechnik



Zentren und externe Projektgruppen

*Il est bien plus beau
de savoir quelque chose de tout
que de savoir tout d'une chose.*

*Es ist viel schöner,
von allem etwas zu wissen,
als von einer Sache alles zu wissen.*
Blaise Pascal

Nanotechnologie-Kompetenz- zentrum »Ultradünne funktionale Schichten«

Die Nanotechnologie gehört zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Bereits heute gibt es marktreife Produkte: Festplatten und Leseköpfe für die Datenspeicherung, die mit wenigen Nanometer dünnen Schichten überzogen sind, oder Rastertunnelmikroskope, die die Welt der Atome und Moleküle sichtbar werden lassen, sind nur zwei Beispiele. Ultradünne Schichten sind dabei ein Schlüsselement der Nanotechnologie.

Zur konsequenten Erschließung dieser industriellen Anwendungsmöglichkeiten haben 51 Unternehmen, 10 Hochschulinstitute, 22 außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und 5 Verbände ihr Know-how gebündelt und sich im September 1998 zu einem Netzwerk zusammengeschlossen. Die Koordination dieses Netzwerkes, das vom Bundesforschungsministerium als bundesweites Kompetenzzentrum für den Bereich ultradünne funktionale Schichten ausgezeichnet wurde, liegt beim Fraunhofer IWS. Wesentliche Schwerpunkte bilden die Organisation und Durchführung von Veranstaltungen und Workshops sowie die Vermittlung von kompetenten Ansprechpartnern. Darüber hinaus sind Beteiligungen an Fachmessen, eine aktive Öffentlichkeitsarbeit sowie Fragen der Aus- und Weiterbildung wichtige Aktivitätsschwerpunkte.

Internationales Symposium Nano- fair 2005

Das neue internationale Congress Center Dresden war dieses Jahr Veranstaltungsort für das internationale Symposium Nanofair 2005, das damit bereits zum zweiten Mal in Dresden stattfand. Damit hat sich diese Veranstaltung in kurzer Zeit zu einem führenden Vortrags- und Diskussionsforum der Nanotechnologie in Europa entwickelt, das einen besonderen Schwerpunkt auf die Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft und damit die angewandte Forschung und Entwicklung legt.

Angesichts der Bedeutung hatte die Bundesministerin für Bildung und Forschung Edelgard Bulmahn gemeinsam mit ihrem französischen Kollegen François Goulard, Minister für Bildung und Forschung in Frankreich, die Schirmherrschaft für die Veranstaltung übernommen. Tagungsleitung sowie der Vorsitz im wissenschaftlichen Programmausschuss lagen in den Händen von Dr. Andreas Leson vom IWS, das damit maßgeblich zu der gelungenen Durchführung beitrug. Mehr als 250 Teilnehmer aus Wissenschaft und Industrie nutzten die Gelegenheit, um sich über neueste Entwicklungen und Produkte der Nanotechnologie zu informieren, und zu angeregten Fachdiskussionen. Die Themenschwerpunkte der Tagung lagen auf den Gebieten Elektronik, Werkstoffe, Oberflächen, Optik, Automobilindustrie und Biowissenschaften. Ergänzt wurde das Symposium durch eine begleitende Fachausstellung.



Gemeinschaftsstand der deutschen Kompetenzzentren im Rahmen der Nanofair 2005



Eröffnung der Nanofair 2005 im Internationalen Congress Center Dresden



NanoCareer-Forum

Etwa 100 Studenten aus ganz Europa trafen sich zu der Veranstaltung NanoCareer-Forum, die im Fraunhofer IWS stattfand und vom Nanotechnologie-Kompetenzzentrum mitgetragen wurde. Themen der Veranstaltung bildeten die heutigen Anforderungen, die die Industrie an Hochschul-Absolventen stellt, sowie die Karrieremöglichkeiten, die sich insbesondere in der Nanotechnologie eröffnen. Hochkarätige Vertreter von Industrieunternehmen aus ganz Europa, darunter u. a. AMD, Infineon, ASML, Minatoc, Bayer und Degussa, schilderten aktuelle Entwicklungen in ihren Firmen und die daraus abgeleiteten Anforderungen an potenzielle neue Mitarbeiter. Die anschließende Diskussion zu diesem Problemkreis war sehr reger. Zudem schilderte ein Vertreter der Europäischen Kommission die verschiedenen Möglichkeiten, die die europäischen Mobilitätsprogramme eröffnen. Besichtigungen des Fraunhofer IWS sowie der Gläsernen Manufaktur rundeten das Programm ab.

Sächsisch-Britisches Nanotechnologie-Forum

Mit den Themenschwerpunkten Nanoelektronik und Photonik, Nanomaterialien, -oberflächen und -schichten sowie Nanobiotechnologie präsentierte sich Sachsen beim Sächsisch-Britischem Nanotechnologieforum in London, das von Ministerpräsident Georg Milbradt eröffnet wurde. Gut 130 Teilnehmer informierten sich über aktuelle Entwicklungen und Forschungsergebnisse in drei Workshops sowie einer gemeinsamen Plenarveranstaltung, bei der unter anderem Sir David King, Chief Scientific Advisor to HM Government, und Prof. Bullinger, Präsident der FhG, vortrugen. Die Veranstaltung wurde maßgeblich vom Fraunhofer IWS mitgestaltet und organisiert und fand ihren Ausklang in einem Empfang in der deutschen Botschaft London.

German-Canadian Round Table

In Verbindung mit der Nanofair 2005 fand im Fraunhofer IWS ein bilaterales deutsch-kanadisches Treffen zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Nanotechnologie statt. Führende deutsche Experten der Nanotechnik erörterten mit der 16-köpfigen kanadischen Delegation Möglichkeiten einer engeren Zusammenarbeit. Zugleich nutzten die Teilnehmer die Gelegenheit, sich über neueste Entwicklungen des IWS auf dem Gebiet der Nanotechnologie zu informieren.

4th Ukrainian-German Seminar on Nanosciences and Nanotechnology

Aktuelle Forschungsergebnisse und neue Kooperationsansätze bildeten die Schwerpunkte des bilateralen Seminars mit deutschen und ukrainischen Teilnehmern, das im Fraunhofer IWS stattfand und von diesem maßgeblich organisiert und gestaltet wurde. Inhaltliche Schwerpunkte waren die Themen Nanomaterialien, Nanoelektronik sowie Nanobiotechnologie, deren aktueller Stand jeweils von ukrainischer und deutscher Seite vorgestellt wurde. Die ukrainischen Teilnehmer nutzten zudem die Möglichkeit, ihre Ergebnisse zugleich bei der Nanofair-Konferenz zu präsentieren.

Deutschlandjahr in Japan

Im Rahmen des Deutschlandjahres in Japan beteiligte sich das IWS an einer Delegationsreise unter Leitung des sächsischen Wirtschaftsministers Thomas Jurk nach Japan. Auf drei Seminaren in Tokio, Nagoya und Kyoto, die überaus großen Zulauf fanden, wurden aktuelle FuE-Arbeiten des IWS aus dem Gebiet der Nanotechnik insbesondere auch im Hinblick auf Anwendungen in der Automobilindustrie vorgestellt, die auf reges Interesse stießen.



Diskussion der Teilnehmer am NanoCareer-Forum (28. November 2005)



Zum NanoCareer-Forum kamen Studenten aus ganz Europa



Vortrag von Dr. Leson während der sächsischen Delegationsreise zum Deutschlandjahr in Japan



Wer alle seine Ziele erreicht hat,
hat sie zu niedrig angesetzt.

Herbert von Karajan

Industrielle Projektgruppe im Dortmunder OberflächenCentrum (DOC) der ThyssenKrupp Stahl AG



Dr. Axel Zwick
Leiter der Projektgruppe
am DOC in Dortmund
Tel.: 0231 / 844 3512



Gebäude des Dortmunder OberflächenCentrums

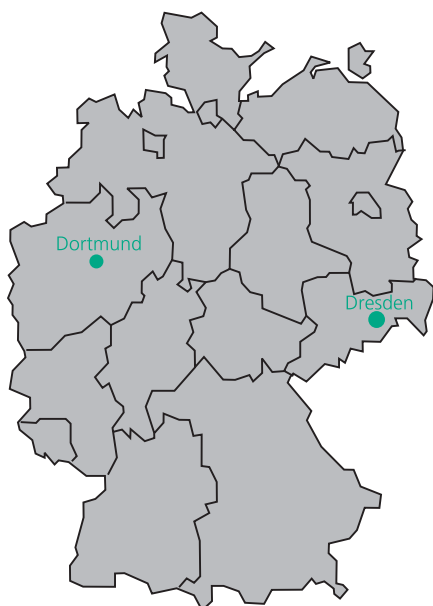
Mit der Gründung des Dortmunder OberflächenCentrums unter Beteiligung der Fraunhofer-Gesellschaft bündelte die ThyssenKrupp Stahl AG (TKS) ihre Kapazitäten und Kompetenzen auf dem Gebiet der Oberflächentechnik.

In diesem größten Forschungs- und Entwicklungszentrum Europas zur Oberflächenveredelung von Flachstahl arbeiten TKS-Mitarbeiter und Mitarbeiter des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden in einer neuen Form der »Public Private Partnership« zusammen. Gemeinsames Ziel ist es, innovative Verfahren der Oberflächentechnik zu entwickeln und in die industrielle Fertigung zu überführen.

Ein herausragendes Ergebnis dieser Zusammenarbeit sind neuartige Zink-Legierungsüberzüge (ZE-Mg). Sie vereinen bei einer Halbierung der Überzugsdicke die sehr gute Korrosionsbeständigkeit bewährter Zinküberzüge mit einer wesentlich verbesserten Bearbeitbarkeit, wie die Fraunhofer-Projektgruppe für die Laserschweißbeugung zeigen konnte. Außerdem wurden Hybrid- und Kombinationsprozesse entwickelt, insbesondere das Hybrid-schweißen von hochfesten Stahlbaukomponenten aber auch die Kombinationen aus Reinigen und Schweißen als auch aus Schweißen und Nachverzinken.

Darüber hinaus bietet die Fraunhofer-Projektgruppe auf 1100 m² Fläche eine Reihe sich ergänzender Verfahren zur Oberflächenveredelung an. Mit modernster Anlagentechnik lassen sich nahezu porenfreie und äußerst haftfeste Plasmaspritzschichten herstellen oder hoch beanspruchte Bereiche von Bauteilen und Werkzeugen mit dem Laserauftragschweißen gezielt mit millimeterdicken Verschleißschutzschichten panzern. Aber auch im Vakuum lassen sich metergroße und tonnenschwere Teile mit nano- bis mikrometerdicken Höchstleistungsschichten, z. B. mit Diamor®-Schichtsystemen, versehen, die eine überragende Härte mit exzellenten Gleiteigenschaften verbinden.

Die breite Palette dieser Verfahren, die sich teilweise untereinander kombinieren lassen, bietet zusammen mit dem Know-how der beteiligten Fraunhofer-Institute die Gewähr, dass der Kunde, sei es TKS, ein TKS-Kunde oder ein anderes Unternehmen, die technisch und wirtschaftlich optimale Problemlösung bekommt. Mit Hilfe eines mobilen 4 kW-Festkörperlasers ist es sogar möglich, Verfahrensentwicklungen aber auch »Trouble shooting« direkt beim Industriekunden zu realisieren und mit Hilfe von bis zu 75 m langen Lichtleitkabeln produktionsnah umzusetzen.



www.iws.fraunhofer.de/doc



Fraunhofer Center for Coatings and Laser Applications (CCL)



Prof. Jes Asmussen
Center Director
CCL / USA
Tel. 1-517-355 4620

Die USA-Aktivitäten des Fraunhofer IWS Dresden sind im »Fraunhofer Center for Coatings and Laser Applications CCL« zusammengefasst. Das CCL wird von Prof. Dr. Jes Asmussen (Michigan State University) geleitet. Prof. Asmussen ist Experte für Diamantbeschichtungen. Seine bisherigen Arbeiten ergänzen in idealer Weise das Know-how des IWS auf dem Gebiet der DLC-Beschichtungen. Unter Leitung von Prof. Asmussen wird in Lansing ein Kohlenstoffcenter aufgebaut.

Das CCL hat 2 Divisions, die »Coating Technology Division« an der Michigan State University in East Lansing unter Leitung von Dr. Thomas Schülke und die »Laser Applications Division« im Gebäude des Headquarters von Fraunhofer USA unter Leitung von Eric Stiles.

Laser Applications Division

2005 war ein weiteres sehr ereignisreiches Jahr für die Lasergruppe des CCL in Plymouth, Michigan. Die räumliche Nähe zu Detroit führte zu einer engen Zusammenarbeit mit der amerikanischen Autoindustrie. Die Gruppe führte zahlreiche Projekte zum Laserstrahlschweißen von Bauteilen aus dem Antriebsstrang fort, insbesondere für das Fügen von Differentials, Getrieben und Antriebswellen. Außerdem wurden Technologien zum Laser-MIG-Schweißen von hochfesten Stählen für Pkw-Karosserien entwickelt.

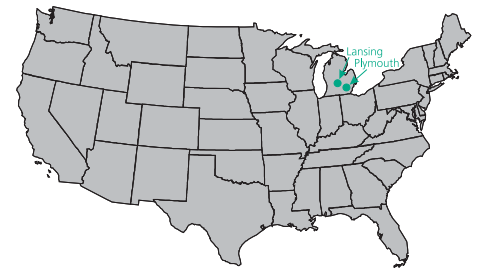
Weitere Höhepunkte waren:

- Entwicklung einer verschleißbeständigen Schicht für Bohrausrüstungen, hergestellt durch Laser-Auftragsschweißen,
- Laserschweißen von Titanstrukturen für Luftfahrtanwendungen.

Coating Technology Division

Die Dünnschichtgruppe des CCL ist in East Lansing, Michigan zu Hause. Durch die Zusammenarbeit mit der Michigan State University wurde das Technologiespektrum der Gruppe erheblich erweitert. Neben den bereits zuvor angebotenen PVD-Technologien gehören jetzt auch mikrowellen-basierte CVD- und Materialbearbeitungstechnologien zum Arbeitsbereich des CCL in East Lansing. Darüber hinaus wird als Folge der engen Einbindung der Gruppe in die Universitätsinfrastruktur ein erweiterter Charakterisierungsservice (Materialzusammensetzung, Elektronenmikroskopie, Nanoindenter, AFM) sowie die Entwicklung von Prozessen zur Fertigung von mikro-elektro-mechanischen Systemen (MEMS) angeboten.

Betriebshaushalt 2005	3,07 Mio. \$
Personalaufwendungen	1,22 Mio. \$
Sachaufwendungen	1,85 Mio. \$



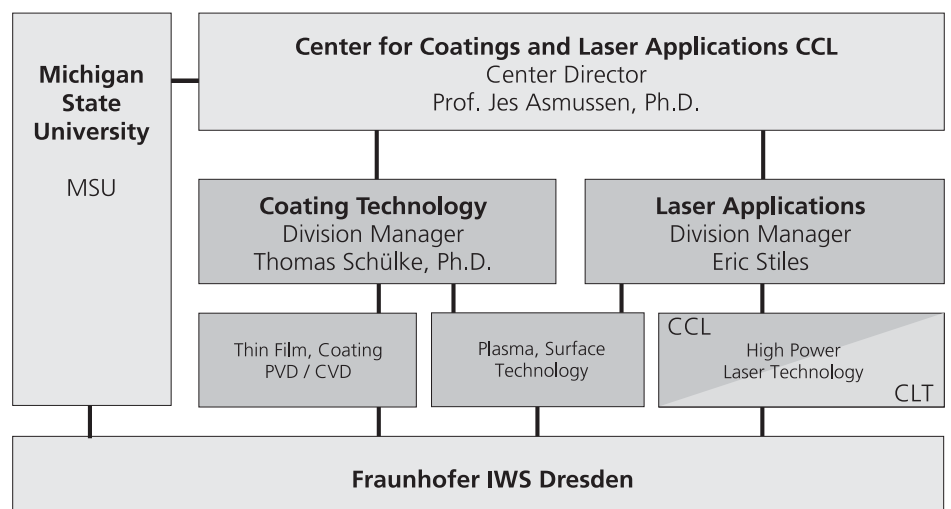
www.ccl.fraunhofer.org



Gebäude des CCL, des »Center for Laser Technology« (CLT) und des Headquarters von Fraunhofer USA in Plymouth



Gebäude des CCL in East Lansing, Michigan





Ausstattung

The optimist proclaims that we live in the best of all possible worlds; and the pessimist fears this is true.

Der Optimist erklärt, dass wir in der besten aller möglichen Welten leben, und der Pessimist fürchtet, dass dies wahr ist.
James Branch Cabell



Blick in die Technikumshalle des IWS



Hochgeschwindigkeits-3D-Laser-Schneidanlage mit Linearantrieben



Laserstrahlschweißanlage mit 6 kW-CO₂-Hochleistungslaser

Laserstrahlquellen

mehrere Faserlaser bis 4 kW-cw und 1 kW-pm

mehrere CO₂-Laser, 2 bis 6 kW (HF-angeregt)

mehrere Nd:YAG-Laser bis 4,4 kW-cw (lampen- und diodengepumpt) und 1 kW-pm

Nd:YAG-Lasersysteme mit Pulslängen im ms-, ns- und ps-Bereich für die Feinbearbeitung

mehrere Hochleistungs-Diodenlaser, 1,4 bis 4,0 kW

TEA-CO₂-Laser

Excimerlaser (193 nm und 248 nm)

frequenzvervielfachte Nd:YAG-Laser (532 und 355 nm)

gepulster Nd:YAG-Laser mit OPO

Handhabungssysteme

3D-Doppelgantry-Anlage, 22 Achsen mit zwei 3D-beweglichen Bearbeitungsköpfen, Geschwindigkeit bis 40 m min⁻¹, Arbeitsraum 10 x 3 x 1,5 m³, zwei 4,5 kW-CO₂-Laser

mehrere CNC-Laser-Bearbeitungsanlagen mit bis zu 8 Achsen, Geschwindigkeiten bis 20 m min⁻¹, Arbeitsraum 2,4 x 1,8 x 0,6 m³ bzw. 4 x 3 x 1,5 m³, CO₂-Laserstrahlquellen 2,5 bis 6 kW

Laserinduktions-Hybridanlage mit 5 Achsen (6 kW-CO₂-Laser, 80 kW-MF-Induktionsgenerator)

Präzisionsanlagen (Genauigkeitsklasse 5 µm) mit 5 bzw. 4 CNC-Achsen, mit CO₂-Laserstrahlquelle bis 6 kW

CO₂-Nd:YAG-Kombinationsanlage (2 bzw. 3 kW) mit 4 CNC-Achsen für Präzisionsbeschichtung

Schneidmaschine mit Linearantrieben bis 300 m min⁻¹ Vorschub und CO₂-Laserstrahlquelle bis 3,5 kW

universelle Excimerlaser-Mikrostrukturierungsanlage

Beschichtungsanlagen

Laser-PVD-Beschichtungsanlagen (Nd:YAG-, Excimer-, TEA-CO₂-Laser) im Hochvakuum- und Ultrahochvakuumbereich

Anlagen zur Beschichtung mittels Vakuumbogen (Laser-Arc, gepulster Hochstrombogen, Gleichstrombogen, Magnetfilter)

Anlagen zur plasmagestützten CVD-Beschichtung bei Atmosphärendruck (6 kW Mikrowelle, 30 kW dc-Arc)

Anlagen zur Abscheidung von Ultra-präzisions-Vielfachschichten mittels PLD, Ionenstrahlputtern und Magnetronputtern

Kombinations-Beschichtungsanlage [Elektronenstrahl (40 kW) und Hochstrombogen]

Anlagen zum atmosphärischen (auch mit Laserunterstützung) und zum Vakuum-Plasmaspritzen mit Roboterhandhabung (APS, LAAPS, VPS)

Anlage zum Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF)

Anlage zum Plasma-Pulver-Auftragsschweißen (PTA, 6 kW)

Spezielle Komponenten

statische und flexible dynamische Strahlformungssysteme für Laserleistungen bis 10 kW

CNC- bzw. sensorgesteuerte Drahtförderer für das Laserschweißen

mobile MF- und HF-Induktionsquellen (4 - 20 kHz, 100 - 400 kHz)



modulares Pulverdüsensystem COAXn zum Laserstrahl-Präzisionsauftragschweißen

Prozessüberwachungssysteme für das Thermische Spritzen, Laserstrahl-Auftragschweißen und Laserschweißen

Softwarepaket zur DCAM Offline-Programmierung von Robotern und CNC-Maschinen für alle thermischen Beschichtungsverfahren

Sensorsystem für die 3D-Geometrieerfassung (automatisches teach-in) zur Laserbearbeitung von Bauteilen (On- und Offline-Konturverfolgung)

Strahldiagnosesysteme für CO₂- und Nd:YAG-Laser

UV/VIS-, FTIR- und NIR-Diodenlaser-Spektrometersysteme zur Diagnostik von Prozessgasen und -plasmen

Messtechnik zur Kurzzeit-Prozessanalyse (4-Kanal-Hochgeschwindigkeits-Bildverstärkerkamera)

Spezielle Bearbeitungsanlagen

mobiler 4 kW-Nd:YAG-Laser im Container

Rapid-Prototyping-Anlage zum Lasersintern

transportabler Nd:YAG-Laser mit 5 · 10⁷ Watt Pulsspitzenleistung (Pulsdauer 6 ns, max. Pulsfrequenz 20 Hz) mit Gelenkarm-Strahlübertragung und Zoomoptik für Reinigungsarbeiten im Außeneinsatz

durchstimmbares Laserbearbeitungssystem (Wellenlänge 400 ... 2000 nm, > 100 mJ) mit flexiblem Strahlarm und CNC-Bauteilbewegung für das Abtragen dünner Schichten

Laserbearbeitungsstation mit Industrieroboter und CO₂-Slab-Laser

CNC-Bearbeitungszentrum zum 5-Achs-Fräsen und Laser- sowie Plasma-Auftragschweißen

laserintegriertes CNC-Fräszentrum zum Generieren und Reparieren

mobile Anlage zur rutschhemmenden Ausrüstung verlegter Böden (mit diodengepumptem Nd:YAG-Laser)

Messgeräte

Ausrüstung zur Gefügeanalyse einschließlich Präparationstechnik:

- Metallographie
- Transmissionselektronenmikroskopie
- Rasterelektronenmikroskopie

Ausrüstung zur Werkstoffprüfung:

- servohydraulische Prüfmaschinen
- mechanische Zug- / Druck-Prüfmaschine
- Kerbschlagpendel
- rechnergestütztes Mikrohärtetestsystem, Härteprüfautomat
- Resonanzermüdungsapparatur
- Flachbiege-Torsions-Maschine
- verschiedene Verschleißprüfsysteme (Abrasive-, Kavitations-, Oszillationsgleitverschleiß)

Laserakustik-Messsysteme zur Bestimmung des E-Moduls von Schichten

Laserschock-Messsystem mit Hochgeschwindigkeitspyrometer

Ausrüstung zur Oberflächen- und Schichtanalyse:

- vollautomatisches Spektralellipsometer (270 - 1700 nm)
- UV-VIS-Spektrometer
- Raman-Mikrospektrometer
- FTIR-NIR-Spektrometer
- FTIR-Spektrometer, FTIR-Mikroskop
- registrierendes Eindruckmessgerät
- Scratchtester
- Rauheitsmessgerät
- Tribometer
- Eigenspannungsmessgerät

Röntgendiffraktometer (CuK α)

Röntgendiffraktometer (MoK α)

optisches 3D-Koordinatenmesssystem



Vakuum-Plasmaspritzanlage



Anlage zur Abscheidung von Nanometermultischichten auf Großflächen



Anlage zur Abscheidung von nitridischen Hartstoffschichten

Das nächste Spiel
ist immer das schwerste.
Sepp Herberger

Gesamtmitarbeiter

Aufgrund einer Kooperationsvereinbarung zwischen der TU Dresden und dem Fraunhofer IWS sind der Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik (Prof. Beyer) und das IWS miteinander verbunden. Eine Reihe von Mitarbeitern des Lehrstuhls arbeitet in einer Vielzahl von Projekten eng mit den IWS-Mitarbeitern zusammen. Dabei werden in der Regel die Forschungs- und Grundlagenarbeiten an der TU und die anwendungsbezogenen Verfahrensentwicklungen und systemtechnischen Arbeiten am IWS durchgeführt.

Die Mitarbeiter teilen sich 2005 wie folgt auf:

Mitarbeiter im Fraunhofer IWS

	Anzahl
Personal	108
- Wissenschaftler	60
- Technische Angestellte	39
- Verwaltungsangestellte	9
Lehrlinge	14
Wissenschaftliche Hilfskräfte	60
Gesamt	182

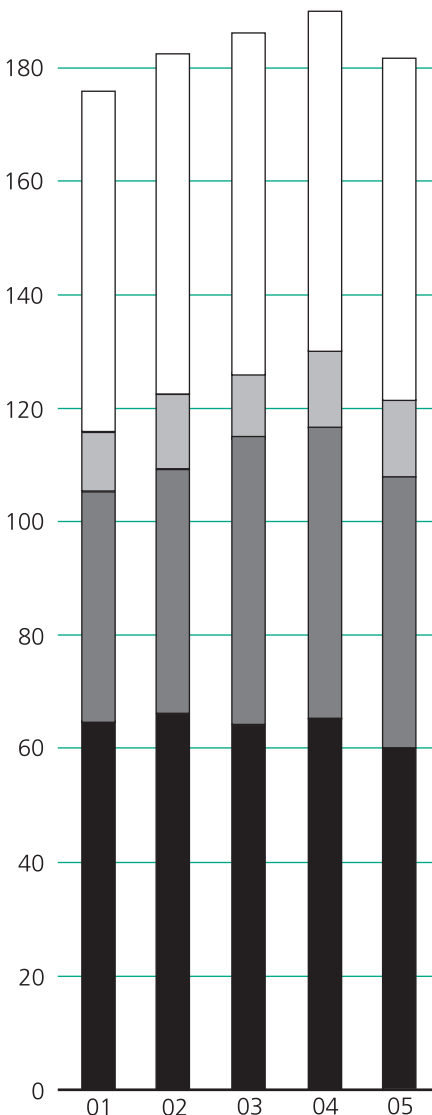
Mitarbeiter am Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik der TU Dresden

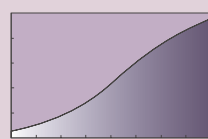
	Anzahl
Personal	33
- Wissenschaftler	20
- Technische Angestellte	12
- Verwaltungsangestellte	1
Studentische Hilfskräfte	8
Gesamt	41

Gebäude	8000 m²
- Technikumshalle	1600 m ²
- Laborräume	3070 m ²
- Büroräume	2630 m ²
- Infrastrukturräume	700 m ²

Technikum im DOC (Dortmund) **1100 m²**

Anzahl der Mitarbeiter im IWS





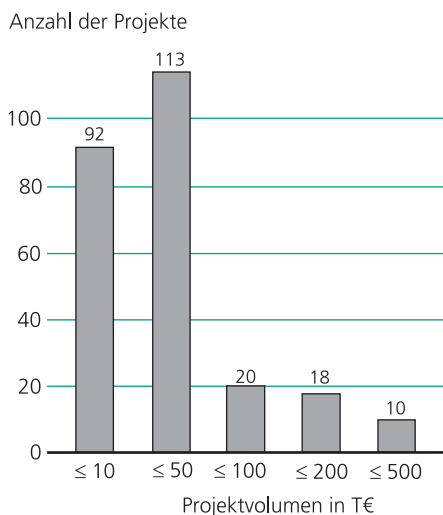
Aufwendungen und Erträge 2005 (vorläufiges Ergebnis*)

* Nachkalkulation noch nicht erfolgt

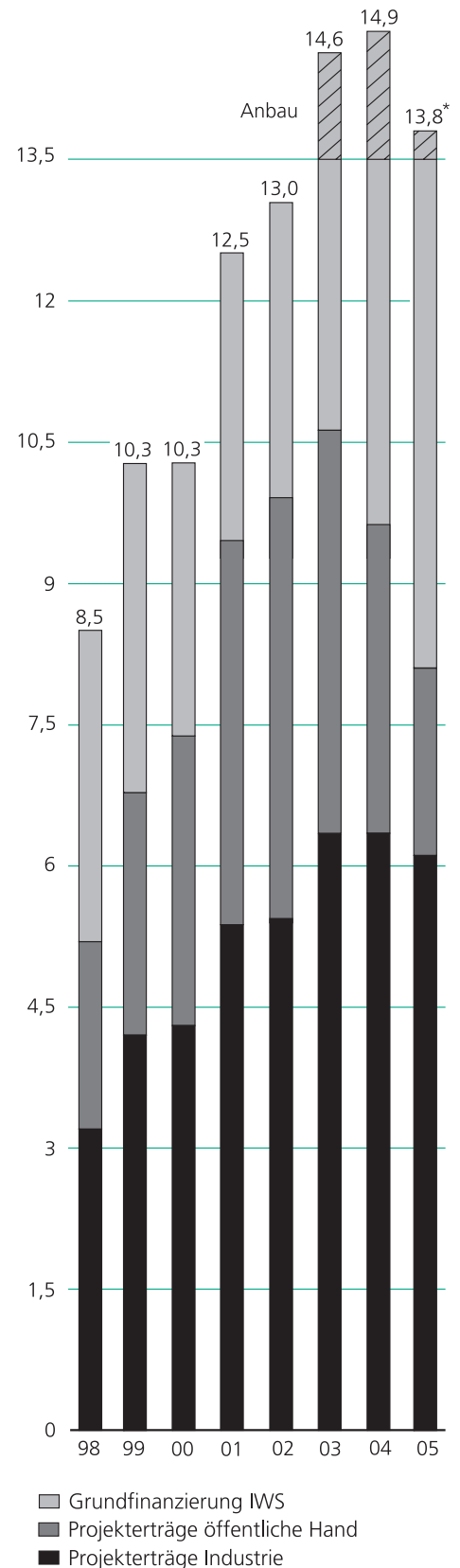
	Mio. €	
Aufwendungen Betrieb und Investitionen 2005	13,8	
Betriebshaushalt	11,8	
- Personalaufwendungen	6,0	
- Sachaufwendungen	5,8	
Investitionshaushalt	2,0	
	Mio. €	%
Erträge 2005	13,8	
Betrieb	11,8	
- Projekterträge aus der Industrie	6,0	51
- Projekterträge durch Bund, Land und EU	2,0	17
- Grundfinanzierung IWS	3,8	32
Investitionen	2,0	
- Projekterträge aus der Industrie	0,1	
- Projekterträge durch Bund, Land und EU	0,0	
- Grundfinanzierung IWS	0,6	
- Strategische Investitionen	1,3	

Projekte

Im Jahr 2005 wurden am IWS 253 Projekte durchgeführt. Die Aufteilung der Projekte nach ihrem finanziellen Volumen ist in der folgenden Grafik dargestellt. So wurden beispielsweise 113 Projekte mit einem finanziellen Volumen von 10 ... 50 T€ bearbeitet.



Erträge im Betriebs- und Investitionshaushalt (in Mio. €)



Kuratorium

Das Kuratorium berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

P. Wirth, Dr.

Vorsitzender der Geschäftsführung der Rofin-Sinar Laser GmbH,
Vorsitzender des Kuratoriums

R. Bartl, Dr.

Director Production Planning MB Cars der DaimlerChrysler AG

I. Bey, Dr.

Leiter des Projektträgers Forschungszentrum Karlsruhe und des Bereichs Produktion und Fertigungstechnologien der Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

H. Bücher, Dr.

Koordinator Innovationsmanagement und Technologiemarketing im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

S. Clobes, RD'in

Leiterin des Referates Produktionssysteme und -technologien des Bundesministerium für Bildung und Forschung
(Kuratorin seit Juni 2005)

D. Fischer

Geschäftsführer EMAG Leipzig Maschinenfabrik GmbH

F. Junker, Dr.

Mitglied im Aufsichtsrat der Koenig & Bauer AG, Planeta-Bogenoffset

J. Klenner, Dr.

Leader Centre of Competence Engineering Structure, Airbus

P. Lenk, Dr.

Geschäftsführer der von Ardenne Anlagentechnik GmbH

P. Linden, Dr.

Leiter Betriebsmittel KT / B4 der DaimlerChrysler AG

A. Mehlhorn, Prof. Dr.

Institut für Organische Chemie der Technischen Universität Dresden

R. J. Peters, Dr.

Geschäftsführer des VDI-Technologiezentrum GmbH

W. Pompe, Prof. Dr.

Institut für Werkstoffwissenschaft der Technischen Universität Dresden

F. Schmidt, MD Dr.

Staatssekretär im Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

R. Zimmermann, MR Dr.

Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

U. Jaroni, Dr.

Mitglied des Vorstandes Division Auto der ThyssenKrupp Stahl AG
(Gast)

Die 15. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 1. März 2005 im Fraunhofer IWS Dresden statt.

Institutsleitungsausschuss (ILA)

Der Institutsleitungsausschuss (ILA) berät die Institutsleitung und wirkt bei der Entscheidungsfindung über die Grundzüge der Forschungs- und Geschäftspolitik des Institutes mit.

Mitglieder des ILA sind:

Prof. Dr. E. Beyer	Institutsleiter
Dr. A. Leson	Stellv. Institutsleiter
Dr. S. Wilhelm	Verwaltungsleiter
Prof. Dr. B. Brenner	Abteilungsleiter
Dr. V. Hopfe	Abteilungsleiter
Dr. L. Morgenthal	Abteilungsleiter
Dr. S. Nowotny	Abteilungsleiter
Prof. Dr. B. Schultrich	Abteilungsleiter

Gäste sind:

Dr. S. Bonß	WTR-Vertreter
Prof. Dr. U. Günther	Lehrstuhlvertreter
Dr. C. Krautz	Marketing
Dr. M. Panzner	Betriebsrat
Dr. S. Schädlich	QM-Beauftragter

Wissenschaftlich-Technischer Rat (WTR)

Der Wissenschaftlich-Technische Rat (WTR) unterstützt und berät Organe der Fraunhofer-Gesellschaft. Ihm gehören die Mitglieder der Institutsleitung und je Institut ein gewählter Vertreter der wissenschaftlich-technischen Mitarbeiter an. Mitglieder des IWS im WTR waren im Berichtszeitraum:

- Prof. Dr. E. Beyer
- Dr. S. Bonß



Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum direkten Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftlich erfolgreiche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 58 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über 1 Milliarde €. Davon fallen mehr als 900 Millionen € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die

Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, auch um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

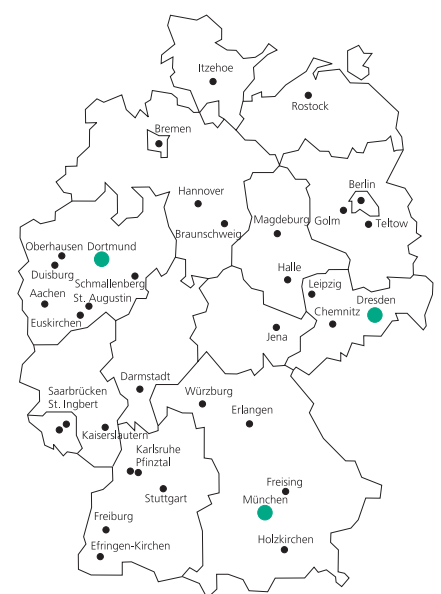
Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Namensgeber der Gesellschaft ist der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreiche Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Le génie n'a pas de sexe.

Genie hat kein Geschlecht!
Madame de Staël





Fraunhofer Verbund Oberflächentechnik und Photonik

Kompetenz durch Vernetzung

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Oberflächentechnik und Photonik. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine permanente, schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an den raschen technologischen Fortschritt in allen industriellen Anwendungsbereichen. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten. Es wird ein breiteres Leistungsangebot zum Nutzen des Kunden erzielt.

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

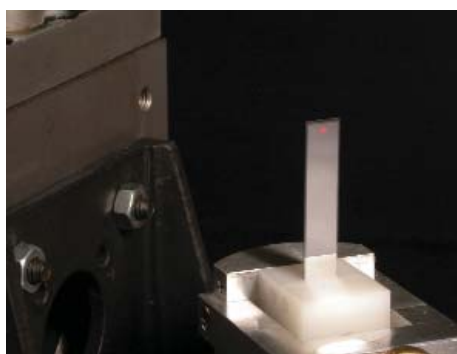
Das Fraunhofer IPM entwickelt optische Systeme für die Spektroskopie und Laserbelichtungstechnik. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Verwirklichung hochdynamischer Systeme. Neben der schnellen Laseransteuerung sind dafür besondere Kompetenzen bei der Signalverarbeitung gefragt. So wurden für die Infrastrukturüberwachung von Hochgeschwindigkeitsstrecken robuste, wartungsarme Messgeräte realisiert.

Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Ziel des FEP ist die Erforschung und Entwicklung innovativer Verfahren zur Nutzung von Elektronenstrahlen hoher Leistung und dichter Plasmen in Produktionsprozessen für die Oberflächentechnik. Dabei stehen praktische Fragestellungen wie Prozessmonitoring, Qualitätskontrolle, Reproduzierbarkeit, Aufskalierung und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Im Bereich der Lasertechnik ist das Zusammenspiel zwischen Laserentwicklung und Laseranwendung von herausragender Bedeutung. Neue Laser erlauben neue Anwendungen und neue Anwendungen geben Anregungen für neue Lasersysteme. Deshalb erweitert das Fraunhofer ILT durch die enge Kooperation mit führenden Laserherstellern und innovativen Laseranwendern ständig seine Kernkompetenzen.



Oben: Fraunhofer FEP
Mitte: Fraunhofer IPM
Unten: Fraunhofer ILT

Kernkompetenzen	FEP Dresden	ILT Aachen	IOF Jena	IPM Freiburg	IST Braunschweig	IWS Dresden
Schicht- und Oberflächentechnologie	●●●	●	●	●	●●●	●
Strahlquellen	●	●●	●	●		
Mikro- und Nanotechnologie		●	●	●	●	●
Materialbearbeitung	●	●●			●	●●
Optische Messtechnik		●	●	●	●	●



Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung und Schichtcharakterisierung. Zurzeit ist das Institut in folgenden Geschäftsfeldern tätig: Maschinenbau und Fahrzeugtechnik; Werkzeuge; Energie, Glas und Fassade; Optik, Information und Kommunikation; Mensch und Umwelt.

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Hauptgegenstand der Forschungstätigkeit des Fraunhofer IOF ist die optische Systemtechnik mit dem Ziel der immer besseren Kontrolle von Licht. Schwerpunkte sind multifunktionale optische Schichtsysteme, mikro-optische Systeme, optische Messsysteme und Systeme zur Optik-Charakterisierung, feinmechanische Präzisionssysteme sowie die Mikromontage.

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

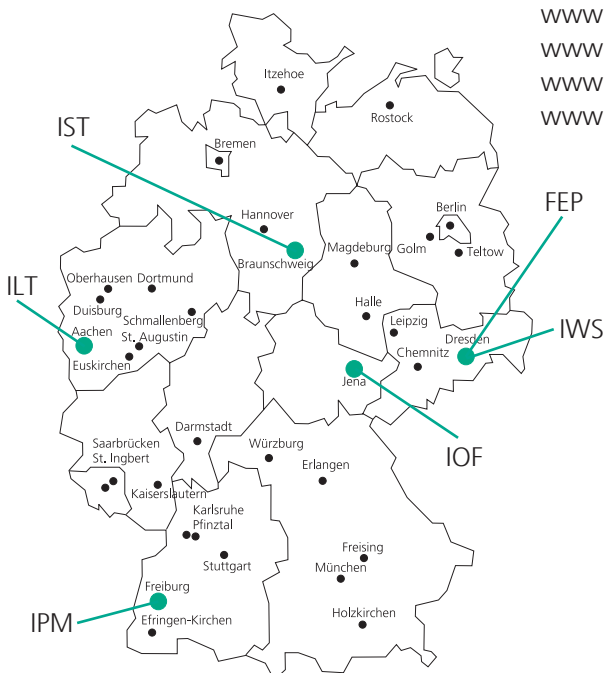
Das Fraunhofer IWS forscht auf den Gebieten der Lasertechnik (z. B. Laserschweißen, Laserschneiden, Laserhärten), der Oberflächentechnik (z. B. Auftragschweißen), der Mikrobearbeitung sowie der Dünnschicht- und Nanotechnologie. Die in die Forschung und Entwicklung integrierte Werkstoffprüfung und -charakterisierung fundiert und erweitert das Spektrum des IWS.

Kontakt / Koordination

Sprecher des Verbundes:
Prof. Dr. Eckhard Beyer

Koordination:
Udo Klotzbach
Telefon: 0351 / 2583 252
E-Mail: udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de
www.vop.fraunhofer.de

Die Institute:
www.fep.fraunhofer.de
www.ipm.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de
www.ist.fraunhofer.de
www.iof.fraunhofer.de
www.iws.fraunhofer.de



Oben: Fraunhofer IST
Mitte: Fraunhofer IOF
Unten: Fraunhofer IWS



Forschungs- und Entwicklungsangebot: Füge- und Randschichttechnologien

Redaktion: Im Jahresbericht 2004 sprachen Sie über die beiden verfahrenstechnisch orientierten Standbeine Ihrer Abteilung - das Laserstrahlfügen und die Randschichttechnologien. Wie sieht Ihre diesjährige Bilanz auf diesen Gebieten aus?

Prof. Brenner: Wir freuen uns, dass es gelungen ist, sowohl durch öffentlich geförderte Projekte als auch durch eine Vielzahl von Industrieprojekten unsere Kompetenz in beiden Richtungen weiter auszubauen und dies auch durch sieben Industrieüberführungen von technologisch und werkstofftechnisch anspruchsvollen Problemlösungen in die industrielle Praxis nachzuweisen.

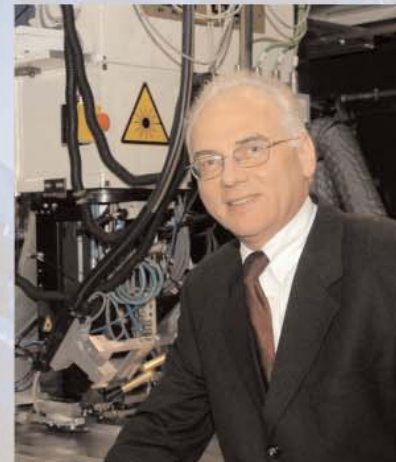
Auf dem Gebiet des Laserstrahlschweißens betrifft das z. B. die Weiterentwicklung des Laserstrahlschweißens mit werkstoffangepasstem Schweißzusatzwerkstoff für bisher nicht rissfrei schweißbare Getriebebauteile und dessen industrielle Überführung bei ZF Gotha im Auftrag des Systemherstellers Arnold. Entwicklungsseitig möchte ich noch die Arbeiten zur Eigenschaftscharakterisierung und -verbesserung laserstrahlschweißter Komponenten für den Flugzeugbau, zum Einsatz von Faserlasern und zur Vermeidung von Heißrissen in heißrissgefährdeten Werkstoffen hervorheben. Die Schwerpunkte der Arbeiten zur Randschichtveredlung lagen im vergangenen Jahr auf der Auslegung und erfolgreichen Inbetriebnahme von vier HLDL-Laserstrahlhärteanlagen zum Randschicht härten im Werkzeugbau bei inländischen (BMW) und ausländischen (Schweiz, Italien) Kunden. Die Arbeiten banden viel Kapazität, bewiesen aber, dass der eingeschlagene Weg zum zielgerichteten Aufbau von Systemkompetenz durch Entwicklung verfahrensspezifischer Schlüsselkomponenten nebst dazugehöriger Software richtig und erfolgreich ist.

Redaktion: Stichwort Faserlaser: Welche Bedeutung messen Sie dem Einsatz des Faserlasers zum Laserstrahlschweißen künftig zu?

Prof. Brenner: Das IWS verfügt seit kurzer Zeit über einen 1 kW- und einen 4 kW-Faserlaser mit höchster Strahlqualität (Strahlparameterprodukt 0,35 bzw. 1,8 mm · mrad). In einer Vielzahl von Schweißexperimenten an den wirtschaftlich wichtigsten Werkstoffgruppen konnten wir herausragende Schweißergebnisse erreichen. Wir sind deshalb davon überzeugt, dass dem Faserlaser sowohl wegen seiner schweißtechnologischen Eignung als auch seiner leichten Integrierbarkeit in Robotersysteme bei 3D-Anwendungen, seiner Mobilität, seines einfachen Aufbaus und hohen elektrooptischen Wirkungsgrades eine große Zukunft bevorsteht.

Redaktion: Sie betonten bisher immer den ganzheitlichen Ansatz der Arbeiten Ihrer Abteilung. Seit kurzem gehört auch die Gruppe »Klebtechnik« zur Abteilung. Wie passt das zu diesem Ansatz und welche Effekte versprechen Sie sich davon?

Prof. Brenner: Die Gruppe »Klebtechnik« wurde in die Abteilung integriert, weil wir uns Synergieeffekte davon versprechen. Aus strategischer Sicht werden in Zukunft unter dem Gesichtswinkel Leichtbau die Anforderungen an einen beanspruchungsoptimierten, aber trotzdem bezahlbaren Werkstoffeinsatz steigen. Das hat den allgemeinen Trend zum Multi-Material-Design zur Folge. Diese Designphilosophie bleibt jedoch den Strahlschweißverfahren zu großen Teilen verschlossen. Synergieeffekte schöpfen wir - über den durch das Kleben breiteren Marktzugang hinaus - durch eine spezifische Ausprägung der FuE-Arbeiten in Richtung Laser- bzw. Plasmaeinsatz zur Klebeflächenvorbehandlung, Klebeflächenaktivierung oder Wirkortbezogene Klebstoffe erwärmung.



*Wissenschaft ... handelt mit Wissen,
gewonnen durch Zweifel.*

*Galilei in »Leben des Galilei«
von Bertolt Brecht*



Prof. Berndt Brenner
Abteilungsleiter
(Tel. 2583 207,
berndt.brenner@iws.fraunhofer.de)



Dr. Steffen Bonß
Gruppenleiter Randschichtverfahren
(Tel. 2583 201,
steffen.bonss@iws.fraunhofer.de)



Dr. Jens Standfuß
Gruppenleiter Schweißen
(Tel. 2583 212,
jens.standfuss@iws.fraunhofer.de)

Technologien zum beanspruchungsgerechten Härten von Stählen mittels Laser oder Induktion bzw. beidem

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

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

Schweißen schwer schweißbarer Werkstoffe

Das Laserstrahlschweißen ist ein modernes Schweißverfahren, das einen breitgefächerten industriellen Einsatz, insbesondere in der Massenfertigung, gefunden hat. Vorwiegend werden jedoch nur Werkstoffe mit allgemein guter Schweißbeignung verarbeitet. Einen neuen Zugang zur Herstellung rissfreier Schweißverbindungen aus härtbaren und hochfesten Stählen, Gusseisen, Al- und Sonderlegierungen sowie Bauteilen mit hoher Steifigkeit ermöglichen Laserstrahlschweißverfahren mit integrierter Kurzzeitwärmebehandlung sowie werkstoffangepassten Zusatzwerkstoffen. Auf der Basis eines umfangreichen metallphysikalischen und anlagentechnischen Hintergrundwissens bieten wir Ihnen an:

- Entwicklung von Schweißtechnologien,
- Prototypschweißungen,
- Verfahrens- und Anlagenoptimierung,
- Ausarbeitung von Schweißanweisungen.



Laserstrahlgehärtete Turboladerwellen



Laserstrahlgeschweißtes Getriebebauteil

**Dr. Bernd Winderlich**

Gruppenleiter Werkstofftechnik /
Werkstoffcharakterisierung
(Tel. 2583 224,
bernd.winderlich@iws.fraunhofer.de)

Komplexe Werkstoff- und Bauteil- charakterisierung

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

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



Ermüdungstest an lasergaslegiertem Ti6Al4V

**Dr. Irene Jansen**

Gruppenleiterin Klebtechnik
(Tel. 4633 52 10,
irene.jansen@iws.fraunhofer.de)

Klebtechnik

Die Hauptarbeitsgebiete der Gruppe Klebtechnik sind:

- Oberflächenvorbehandlung mittels Plasma- und Lasertechnik sowie der Vergleich mit herkömmlichen Vorbehandlungsmethoden,
- konstruktives Kleben verschiedener Materialien (Metalle, Kunststoffe, Glas, Holz),
- Charakterisierung der Oberflächen sowie der geklebten Verbunde mittels Kontaktwinkel-, Rauheits- und Schichtdickenmessung, Lichtmikroskopie, REM / EDX und spektroskopischen Methoden,
- Bestimmung der Klebfestigkeiten und Alterungsuntersuchungen,
- Simulation und Aufbau einer Datenbank.



Klebflächenvorbehandlung eines Ansaugmoduls aus Magnesiumdruckguss mit Nd:YAG-Laser

Beispiele aus den Arbeiten 2005

1. Integrierte Härterei - Laserstrahlhärten im Großwerkzeugbau 28
2. Dynamisches Strahlformungssystem zur industriellen Laserrandschichtveredelung 30
3. Beidseitig gleichzeitiges Laserstrahlschweißen von großformatigen 3D-Luftfahrtstrukturen 31
4. Neue metallische Bauweisen für den innovativen Flugzeugbau 32
5. Charakterisierung der Belastbarkeit von laserstrahlgeschweißten Stringer-Haut-Verbindungen 33
6. Laserstrahlschweißen von Gusseisen-Stahl-Verbindungen im Getriebebau 34
7. Laserstrahlschweißen mit Faserlasern - Neue Maßstäbe für Funktionalität und Wirtschaftlichkeit 35
8. Rissfreies Laserstrahlschweißen von härtbaren Automatenstählen - eine Vision wird Wirklichkeit 36
9. Laserstrahlung verbessert die Alterungsbeständigkeit der Klebverbindung 37



Integrierte Härterei - Laserstrahlhärten im Großwerkzeugbau

Aufgabenstellung

Die Herstellung von Großwerkzeugen und Vorrichtungen für den Karosseriebau der Automobilindustrie ist ein Beispiel, bei dem der Bedarf von flexibel einsetzbaren, automatisierbaren, verzugsarmen und in die spanende Bearbeitung integrierbaren Randschichthärtungsverfahren besonders deutlich wird. Ziel ist es hier, die Herstellungskosten der Werkzeuge zu senken und gleichzeitig deren Standzeit zu erhöhen. Die Anforderungen an die Werkzeugoberflächen, an die Funktionsflächen der Rohbauvorrichtungen und die Materialien haben sich auf Grund schmaler Blechhaltungen mit hohen Flächenpressungen, den Einsatz höherfester Bleche, diverser Blechbeschichtungen mit verändertem Reibverhalten, höheren Anforderungen an die Außenhautqualität und hohen Stückzahlen erheblich erhöht.

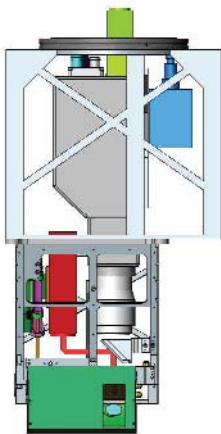


Abb. 1: Konstruktionsdarstellung des ersten Lasermoduls

Das Laserstrahlhärten wird seit mehreren Jahren industriell als externe Lohnleistung angewendet. Es erfordert jedoch umfangreiches Know-How, um den Prozess einzurichten. Eine Vielzahl von Parametern muss in Abhängigkeit vom Werkstoff und den zu erreichenden Härtezonensparametern optimiert werden. Das ist zur Zeit mit einem hohen Einrichtaufwand verbunden, der in der Regel von metallographischen Untersuchungen begleitet wird.

Ein Nachteil heutiger Hochleistungsdiodenlaser in Bezug auf das Härten von Werkzeugen ist, dass die innerhalb des rechteckigen oder quadratischen Strahles zwar nahezu konstante Intensitätsverteilung nicht flexibel einstellbar ist. Von den Laserherstellern angebotene Zoom- oder Vario-Objektive verändern nur die Strahlform aber nicht die Intensitätsverteilung. Das optimale Härten von Kanten erfordert jedoch eine stufenlos und zudem noch während (!) des Härteprozesses veränderbare Einstellung der Leistungsverteilung der Laserstrahlung.

Lösungsweg

Auf Basis des Laserstrahlhärtens sollte im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projektes ein Technologiemodul »Integrierte Härterei« entwickelt werden. Dieses wird in verschiedenen Maschinensystemen eingesetzt. Durch die »Integrierte Härterei« soll das Laserstrahlhärten soweit weiterentwickelt werden, dass es vom Expertenprozess zum Facharbeiterprozess hin vereinfacht werden kann.

Die »Integrierte Härterei« besteht dabei aus folgenden, erstmalig realisierten Komponenten, einem *Technologieprozessor* mit den Bausteinen:

- Berechnung der Härteparameter,
- automatische Erstellung eines CNC-Härte-Programmes aus CAD-Datenfiles mit integrierter Parameteroptimierung unter Berücksichtigung der lokalen Wärmeabfuhr,
- temperaturgeregelte Laserleistungssteuerung und einem *Flexiblen Lasermodul*, bestehend aus
 - Bereitstellungsmodul,
 - Hochleistungsdiodenlaser,
 - CNC-ansteuerbare flexible Strahlformungseinheit,
 - Medienübergabe,
 - integrierte Temperatursensorik.

Damit soll die partielle Wärmebehandlung in die spanende Fertigung von Großwerkzeugen integriert werden. Anhand von drei Demonstratormaschinen werden die neuen Möglichkeiten der »Integrierten Härterei« aufgezeigt. Es wurden bisher die direkte Integration in ein Fräszentrum sowie die Integration mit einer separaten Portalanlage in ein Palettenwechselsystem eines Fräszentrums realisiert. Die Variante auf Basis eines 6-Achs-Knickarm-Roboters wird Anfang 2006 in Betrieb genommen.



Abb. 2: Zweites Lasermodul, integriert in Laserhärteportal



Ergebnisse

Durch das Fraunhofer IWS wurde eine Strahlformungseinrichtung entwickelt, mit der variable Härtespurbreiten von 4 bis über 40 mm realisiert werden können. Es wird dabei auf bewährte Scannertechnik aus der Anwendung von CO₂-Lasern zurückgegriffen. Für die Anwendung mit Hochleistungsdiodenlasern wurden verschiedene Spiegelmaterialien und Beschichtungen untersucht und eine geeignete Variante gefunden, die in Langzeitversuchen ihre Stabilität bewiesen hat. Eine Besonderheit liegt in der Lösung des Problems, dass die verwendeten Hochleistungsdiodenlaser zwei verschiedene Wellenlängen gleichzeitig emittieren und dies mit einem vergleichsweise großen Divergenzwinkel tun.

Um den meist näherungsweise rechteckig geformten Strahl immer optimal in Bezug zur Vorschubrichtung drehen zu können, wurde das Lasermodul mit einer eigenen Drehachse ausgestattet. Diese 6. Achse wird in die Steuerung der Fräsmaschine oder des Härteportals eingebunden und vom CAM-System als zusätzliche zu interpolierende Achse betrachtet. Für die verschiedenen Maschinen- und Steuerungssysteme wird der Antrieb der 6. Achse austauschbar gestaltet. Bei der Anwendung des Lasermoduls mit dem 6-Achs-Knickarmroboter kann auf die separate 6. Achse verzichtet werden. Zur Prozesskontrolle wird die Oberflächentemperatur mit einem Infrarotstrahlungs-pyrometer oder mit dem kamerabasierten System »E-MAqS« gemessen. In beiden Fällen kann bei sich verändernden Arbeitsabständen sowie bei Wärmestau an Werkzeugkanten die Prozessregelung immer nach dem heißesten Punkt der Bauteiloberfläche erfolgen. Anschmelzungen von Werkzeugschneidkanten können so vermieden und optimale Austenitierungstemperaturen eingehalten werden.

Die vom Fraunhofer IWS entwickelte und bereits kommerziell vertriebene Laserleistungsregelung »LompocPro« ergänzt das Lasermodul um eine unverzichtbare hochdynamische Leistungsregeleinheit. Das Lasermodul selbst wurde als Leichtbaukonstruktion so ausgeführt, dass der Strahlfleck auf dem Bauteil bei Prozess üblichen Beschleunigungen nicht mehr als 0,1 mm von seiner Sollposition abweicht.

Das Lasermodul wird im ersten Demonstrator in einem 5-Achs-Fertigungszentrum Droop+Rein T25 50 eingesetzt (Abb. 1). Dazu werden die notwendigen Versorgungsmedien wie Kühlwasser sowie Stromversorgungs- und Signalleitungen separat geführt. Das Lasermodul erhielt einen Parkplatz, von dem aus die Maschine es automatisch wie ein normales Werkzeug einwechseln kann. Ist das Lasermodul nicht eingewechselt, ist die volle Funktion des Bearbeitungszentrums uneingeschränkt nutzbar.

Der zweite Demonstrator ist ein 5-Achs-Portal mit CNC-Steuerung. Dieses führt als separate Bewegungseinheit das über die Standardschnittstellen angeflanschte Lasermodul (Abb. 2, 3). Das Portal wird später in den Palettenbahnhof eines Systems von 5-Achs-Bearbeitungszentren integriert. Damit kann mit der »Integrierten Härterei« parallel zur spanenden Bearbeitung die Wärmebehandlung von Großwerkzeugen durchgeführt werden (Abb. 4). Der dritte Demonstrator ist ein 6-Achs-Knickarmroboter, der mit dem Technologiemodul »Integrierte Härterei« ausgestattet wird.

Diese Arbeiten wurden vom BMBF innerhalb des Verbundprojektes »Integrierte Härterei« (FKZ: 02PD2280) gefördert.

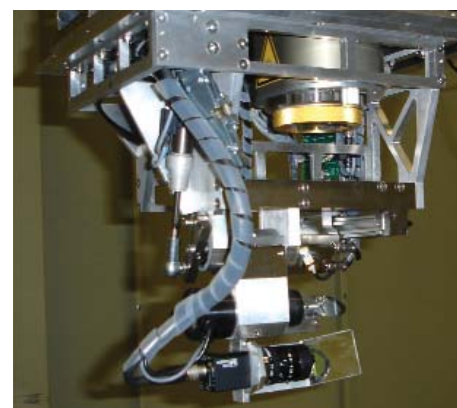


Abb. 3: Teilansicht des zweiten Lasermoduls bei seitlichem Strahlaustritt



Abb. 4: Demonstrator 2 beim Härten einer Schnittleiste

Ansprechpartner

Dr. Steffen Bonß
Tel.: 0351 / 2583 201
steffen.bonss@iws.fraunhofer.de



Dynamisches Strahlformungssystem zur industriellen Laserrandschichtveredelung

Aufgabenstellung

Laserrandschichtveredelungsverfahren wie Laserstrahlhärten, Laserstrahlum-schmelzen oder Laserstrahllegieren sind in den letzten Jahren durch die Verfügbarkeit preiswerterer zuverlässiger Laserstrahlquellen zunehmend als Nischenverfahren für lokal zu behandelnde Bauteilkonturen bei industriellen Anwendern interessant geworden. Dabei steht häufig die Aufgabe, Laserbearbeitungsspuren mit einer Breite von einigen Millimetern zu erzeugen. Dazu stehen speziell angepasste Optiken der Laserhersteller zur Verfügung. Möchte man jedoch variable Spurbreiten erzeugen und unter Umständen sogar während der Bearbeitung Breite und Leistungsverteilung des Laserspots an lokale Erfordernisse anpassen, stößt man mit Fixoptiken an eng gesetzte Grenzen.

Lösungsweg

Eine sehr große Variabilität bieten für diese Anforderungen dynamische Strahlformungssysteme mit Schwing-spiegeloptiken unter Verwendung eines oder mehrerer Galvanometer-scannerantriebe. Die Ansteuerung erfolgt durch frei definierbare Schwingfunktionen, die es ermöglichen, die Leistungsverteilung im gescannten Laserspot zu variieren. Als Laboraufbau existieren solche Systeme bereits, für die industrielle Anwendung müssen jedoch hohe Anforderungen bezüglich Robustheit und Prozess-sicherheit erfüllt werden.

Ergebnisse

Die Konstruktion eines vielseitig einsetzbaren robusten Scannerkopfes für die Anwendung mit Hochleistungs-dioden- oder Nd:YAG-Lasern berücksichtigte langjährige Erfahrungen mit solchen Systemen im Labor. So wurde neben der direkten Temperaturüber-wachung der wirksamen optischen Elemente wie Umlenk- und Scanner-spiegel auch darauf geachtet, dass reflektierte Laser- oder Wärmestrahlung auf aktiv gekühlte Flächen trifft und dass empfindliche Kunststoffkom-ponenten in Ihrer Funktion davon nicht beeinträchtigt werden. Die Zugänglichkeit zum Wechseln von Verschleißtei-len wie Schutzgläser oder Spiegel stand ebenso im Blick des Konstruk-teurs wie der generelle Schutz vor Ver-schmutzung optischer Komponenten. Dazu ist das Gehäuse komplett ge-schlossen ausgeführt und kann mit gereinigter Druckluft oder z. B. Stick-stoff permanent gespült werden. Alle Überwachungen werden mit einer eigenen SPS realisiert, die in das Steu-ergerät des Strahlformungssystems integriert ist. Damit kann das System autark betrieben oder über eine elektrische Schnittstelle in Maschinen-steuerungen eingebunden werden.

Für die Prozessüberwachung sind zwei Möglichkeiten vorgesehen. Einerseits kann ein schnelles Pyrometer koaxial zum gescannten Laserstrahl mehrere Messwerte während einer Scanbewe-gung aufnehmen und einer Laserlei-stungsregelung zuführen. Andererseits besteht die Möglichkeit, das kamera-basierte und ortsauflösend messende Temperaturerfassungssystem »E-MAqS« als Messsystem zu verwen-den. Der Scannerkopf ist so konstruiert, dass auch beide Messsysteme gleichzeitig verwendet werden kön-nen. Für die Bedienung des Systems dient eine Software, die in Verbindung mit einer speziellen I/O-Karte auf einem PC läuft.

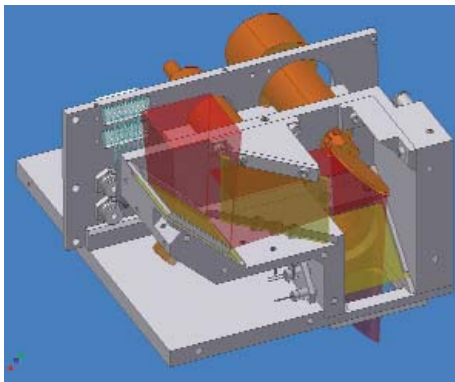


Abb. 1: Konstruktionsansicht des Scannerkopfes mit eingezeichnetem Strahlengang



Abb. 2: Scanningsystem für Hochleistungs-diodenlaser

Ansprechpartner

Dr. Steffen Bonß
Tel.: 0351 / 2583 201
steffen.bonss@iws.fraunhofer.de



Beidseitig gleichzeitiges Laserstrahlschweißen von großformatigen 3D-Luftfahrtstrukturen

Aufgabenstellung

Das beidseitig-gleichzeitige Laserstrahlschweißen von großen sphärisch gekrümmten 3D-Bauteilen in beliebigen Raumrichtungen mit gleichzeitiger Bauteilspannung erfordert neue Maschinenkonzepte (JB 2003, S. 104). Die damit realisierte Laserstrahlschweißanlage (JB 2004, S. 32) sowie die zugehörigen optischen Sensoren und die neuartige CNC- und Softwarearchitektur sollten an einem besonders stark gekrümmten Hautfeld erprobt werden.

Lösungsweg

Im Grundkonzept besteht die Gantry-Anlage aus zwei unabhängig verfahrbaren Y-Brücken. Für eine verbesserte Maschinendynamik und zur Minimierung des Bauraums wurde ein hybrides Bewegungskonzept (Gantryverband + verfahrbarer Maschinentisch) für die Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Bauteil gewählt.

An den Y-Brücken sind Z-Achsen mit unabhängig voneinander dreh- und schwenkbaren Einheiten befestigt. Diese tragen die beiden Schweißköpfe einschließlich der optischen Sensoren zur Detektion der Nahtlage während des Heft- oder Schweißprozesses. Die Bauteilpositionierung übernimmt eine dritte zusätzliche Z-Achse, die eine im Raum dreh- und schwenkbare Plattform besitzt. Die für das Schweißen erforderlichen Koordinaten werden auf der Grundlage von CAD-Daten ermittelt. Ein speziell entwickelter Postprozessor generiert ein komplettes NC-Programm, das neben sämtlichen Steuerbefehlen für Laser, Schutzgas, Crossjet, Sensorik usw. die notwendigen Bahndaten enthält.

Das Grundprinzip der Nahtführung basiert auf der vektoriellen Addition von aktueller Maschinenposition (Sollposition) mit den vom Sensor ermittelten Nahtlagedaten. Zur Erhöhung der Genauigkeit und zur Vermeidung von Fehlern wird ein Mittelwert aus den Daten beider Sensoren berechnet. Die Programmierung der so berechneten Sollwerte erfolgt in einem NC-Satz. Nahtanfang bzw. -ende sowie Unterbrechungen in der zu fügenden Kontur werden ebenfalls von der Sensorik erkannt. Zur Erfassung der Nahtflankenwinkel wird die während des Schweißens errechnete Kontur noch einmal mit aktivierten Sensoren abgefahren. Ein spezieller Auswertalgorithmus liefert den Verlauf des Nahtflankenwinkels entlang der Schweißnaht, s. Abb. 1.

Ergebnisse

Die Inbetriebnahme, Erprobung und Optimierung der gesamten Anlage wurde durch das Schweißen eines Hautfeldes des Airbus A318 zu einem Abschluss gebracht, s. Abb. 2. Das Bauteil besteht aus dem einen Hautblech und 14 Stringern (Längssteifen). Die Ausbildung der Schweißnaht, insbesondere der die Festigkeit der Verbindung bestimmende Nahtflankenwinkel, entsprach in allen Bereichen den vom Auftraggeber gestellten Forderungen (Abb. 1). Eine Nacharbeit, z. B. aufgrund von Fehlpositionierung des Laserstrahls insbesondere im Bereich von Achsumorientierungen, konnte mit dem realisierten Maschinenkonzept vermieden werden. Damit steht eine zukünftigen Anforderungen entsprechende Anlagentechnik für die serienbegleitende Bauweisen- und Prozessentwicklung zur Verfügung.

Das Projekt wurde vom SMWK (FKZ: 4212/02-05 und -06) und von Airbus gefördert.

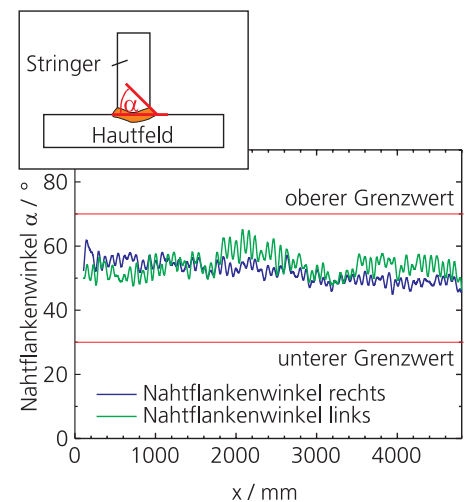


Abb. 1: Verlauf der Nahtflankenwinkel, exemplarisch für einen Stringer des geschweißten Hautfeldes



Abb. 2: Beidseitig-gleichzeitiges Schweißen von Stringer-Hautfeldverbindungen

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jens Liebscher
Tel.: 0351 / 2583 481
jens.liebscher@iws.fraunhofer.de



Neue metallische Bauweisen für den innovativen Flugzeugbau

Aufgabenstellung

Für zukünftige Flugzeuggenerationen gilt es, neuartige Bauweisen aus Metall zu entwickeln, die sich bei geringem Gewicht durch sehr hohe Steifigkeit auszeichnen. Im konkreten Fall sollte ein in Steckbauweise gefertigter Demonstrator verschweißt werden (Abb. 2). Die Aufgabe bestand darin, durch geeignete Wahl der Strahlquelle kurze Schweißnähte bei gleichzeitig minimalem Verzug zu erzeugen. Bezogen auf das Deckblech der Struktur mit einer Fläche von ca. 430 cm² sollten 10 Schweißnähte mit einer Gesamtlänge von 830 cm erzeugt werden. Insgesamt sind 26 Schweißnähte auf einer Bauteilgröße von 210 x 210 x 100 cm³ zu realisieren (Abb. 3).

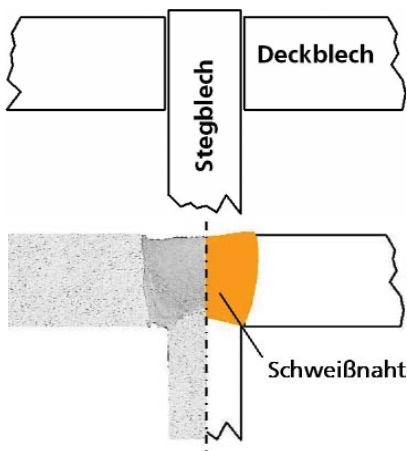


Abb. 1: Fügestellengeometrie und schematische Schweißnaht

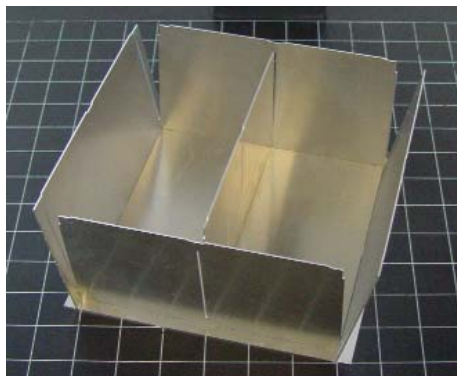


Abb. 2: Zusammensetzung der Steckbleche aus 1,1 mm dünnem Aluminiumblech

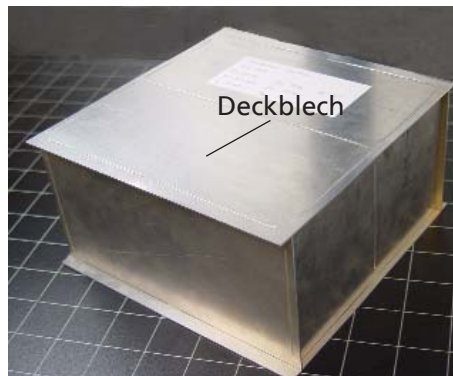


Abb. 3: Laserstrahlgeschweißter Demonstrator

Lösungsweg

Die Einhaltung minimaler Verzugstoleranzen erfordert eine neuartige Strahlquelle mit hoher Intensität, die die thermische Belastung des Bauteils reduziert. Erfüllt wurden diese Randbedingungen durch den Einsatz eines 4 kW-Faserlasers. Im Vergleich zu anderen YAG-Strahlquellen hebt sich der Faserlaser mit dem sehr guten Strahlparameterprodukt von ca. 2 mm · mrad deutlich ab. Die Strahlführung wurde roboterbasiert mit Hilfe einer Strahlablenkoptik umgesetzt.

Ergebnisse

An einem Demonstrator konnte nachgewiesen werden, dass innovative metallische Bauweisen durch modernste Lasertechnik gefügt werden können. In Abb. 1 ist die Fügestellengeometrie mit Schweißnaht dargestellt. Die Kombination aus Faserlaser und Strahlablenkoptik bietet hier enormen Handlungsspielraum und eröffnet neue Felder der Fertigungstechnik.

Die Forderung nach minimalem Verzug wurde trotz der großen Anzahl von Schweißnähten bezogen auf den Baureaum erfüllt. Praktisch konnte kein Verzug festgestellt werden. Zusätzlich wurde eine toleranzoptimierte Schweißnahtfolge entwickelt, die ohne den Einsatz komplizierter Spanntechnik auskommt. Die Übertragung in die Fertigung kann aufgrund der Vielzahl von kurzen Schweißnähten durch sensorgeführte Nahtverfolgungssysteme vereinfacht werden.

Die Untersuchungen erfolgten in Zusammenarbeit mit Airbus Deutschland und der InnoJoin GmbH & Co. KG.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Dirk Dittrich
Tel.: 0351 / 2583 228
dirk.dittrich@iws.fraunhofer.de



Charakterisierung der Belastbarkeit von laserstrahlgeschweißten Stringer-Haut-Verbindungen

Aufgabenstellung

Der Einsatz von laserstrahlgeschweißten Integralschalen im Unterrumpfbereich der Airbusmodelle A318 und A380 sowie die Erschließung weiterer Gewichts- und Kosteneinsparungen erfordern die Verfügbarkeit von Festigkeitskennwerten für die Auslegung und Qualitätssicherung der laserstrahlgeschweißten Stringer-Haut-Verbindungen. Die Kopfzugfestigkeit dient als Auslegungskriterium für derartige Schweißverbindungen. Die Aufgabe bestand darin, bisher vorhandene prüftechnische Einflüsse des Kopfzugversuches auf den Festigkeitskennwert weitgehend zu eliminieren.

Neben dem Festigkeitsverhalten ist auch das Verhalten der geschweißten Stringer-Haut-Verbindungen bei Überlastung bzw. im Versagensfall sowie der Einfluss der Bauweise auf dieses Verhalten von Interesse.

Lösungsweg

Im Fraunhofer IWS wurde im Auftrag der Firma Airbus eine neuartige Kopfzugvorrichtung entwickelt (Abb. 3). Durch Verwendung eines drehend gelagerten Biegebalkens und einer zusätzlichen Biegestütze soll die aus dem Versuchsprinzip resultierende, von der Dicke des Hautbleches und des Stringersteges abhängige Biegebelastung der Schweißnaht weitgehend ausgeschaltet werden.

Zur Bewertung des Verformungsverhaltens von laserstrahlgeschweißten Stringer-Haut-Verbindungen für den Unterrumpfbereich wurde der 4-Punkt-Biegeversuch mit geteilten Auflagerollen eingesetzt (Abb. 1). Der Stringerkopf kann, je nach Anordnung der

Rollen, sowohl auf Zug als auch auf Druck beansprucht werden. Auf diese Weise sollen die bei Überlastung im Hautblech auftretende Beulung und deren Auswirkung auf den angeschweißten Stringer nachempfunden werden.

Ergebnisse

Die neue Kopfzugvorrichtung erbrachte eine deutliche Reduzierung der Biegebeanspruchung am Stringerfuß. Die gemessenen Kennwerte widerspiegeln folglich besser die tatsächliche Zugfestigkeit der Schweißnaht. Ein weiterer Vorteil besteht in der Verringerung der Streubreite der Messergebnisse. Somit konnten weitere Potenziale zur Gewichts- und Kostenreduzierung aufgezeigt werden.

Zur Verbesserung der statischen Tragfähigkeit der Stringer-Haut-Verbindung und zur Erschließung schweißtechnischer Vorteile wurde gemeinsam mit der Firma Airbus ein sog. Y-Stringer mit zwischenklügeligen Fuß entwickelt. In Abb. 2 ist das Ergebnis des 4-Punkt-Biegeversuches an einem derartigen Stringer im Vergleich zu einem L-förmigen Standardstringer für den Fall der Druckbelastung des Stringerkopfes dargestellt. Daraus wird das günstigere Verformungsverhalten des Y-Stringers deutlich. Dieser erträgt bis zum Kraftabfall eine deutlich größere Verformung.

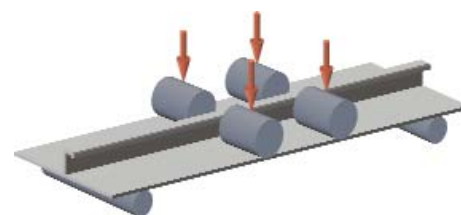


Abb. 1: Schematische Darstellung des 4-Punkt-Biegeversuches

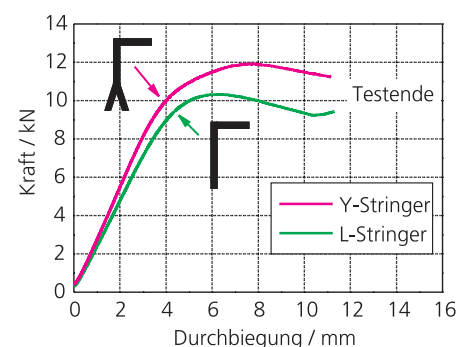


Abb. 2: Biegeverformungsdiagramm - Vergleich zwischen Y- und L-Stringer (Stringerkopf unter Druckbeanspruchung)

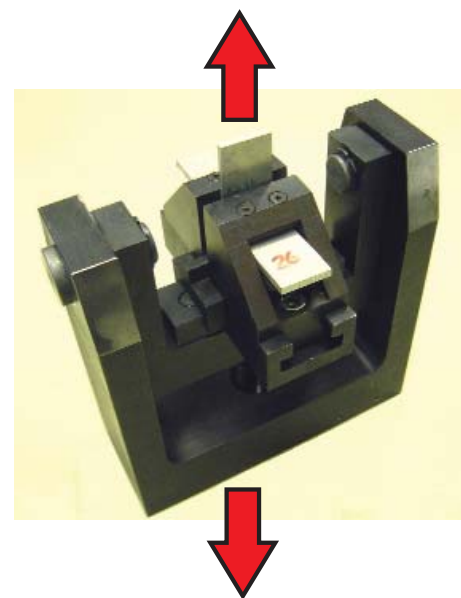


Abb. 3: Im IWS entwickelte Kopfzugvorrichtung

Ansprechpartner

Dr. Bernd Winderlich
Tel.: 0351 / 2583 224
bernd.winderlich@iws.fraunhofer.de



Laserstrahlschweißen von Gusseisen-Stahl-Verbindungen im Getriebebau

Aufgabenstellung

In der Automobilindustrie werden für eine Vielzahl zu fügender Bauteile Werkstoffe eingesetzt, die in der Regel nicht rissfrei schweißbar sind, bei denen aber das Fügen durch eine Laserschweißnaht vorteilhaft wäre.

Für den Einsatz im Bereich der Achsausgleichsgetriebe ist insbesondere die Werkstoffpaarung Gusseisen mit Einsatzstahl von Interesse. Geringerer Arbeitsaufwand sowie Platz- und Materialeinsparungen gegenüber den konventionellen Schraubverbindungen versprechen deutliche Kostenvorteile.

Für die industrielle Umsetzung sind Kenntnisse der Prozessführung beim Laserstrahlschweißen, der sich ausbildenden Schweißnahtqualität (Abb. 1) und der Tragfähigkeit der Schweißverbindung erforderlich. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine beanspruchungsgerechte Schweißverbindung der Werkstoffpaarung TS55/16MnCr5 an rotationssymmetrischen Musterbauteilen herzustellen.

Lösungsweg

Der hohe Gehalt an Schwefel und Kohlenstoff im schwarzen Temperguss GTS hat eine stark eingeschränkte Schweißbeignung zur Folge. Durch den Einsatz eines werkstoffangepassten Nickelbasis-Zusatzwerkstoffes soll eine Unterdrückung der Heiß- und Kaltrissneigung in der Schweißzone erreicht werden.

Zur Bewertung der Belastbarkeit der Schweißnaht unter der für Radialnähte typischen Schubbeanspruchung wurde eine spezielle einschnittige Schervorrichtung entwickelt, mit welcher die statische Scherfestigkeit des Schweißgutes ermittelt werden kann (Abb. 2).

Ergebnisse

Durch Verwendung eines nickelhaltigen Schweißzusatzwerkstoffes und die Optimierung von Nahtlage, Nahtgeometrie und Laserstrahlschweißparametern konnte an Musterbauteilen eine Unterdrückung der Rissanfälligkeit nachgewiesen werden. Ursache hierfür ist vor allem der geringere Schwefelgehalt im Schweißgut, der aufgrund der Durchmischung mit dem Zusatzdraht und der schwefelbindenden Wirkung des im Zusatzdraht vorhandenen Mangans im Schweißgut vorliegt.

Die Scherfestigkeitsversuche am Schweißgut von rissfrei geschweißten Flachproben ergaben, dass der Bruch nicht in der Scherebene sondern in der benachbarten hochaufgehärteten Wärmeinflusszone des Gusswerkstoffes erfolgt. Das Schweißgut stellt somit nicht den kritischen Nahtbereich für die Schubfestigkeit der Schweißverbindung dar. Die erzielten Bruchlasten lassen erwarten, dass die Schweißverbindungen insgesamt die Anforderungen an die statische Belastbarkeit unter Schubbeanspruchung sicher erfüllen. Für den industriellen Einsatz wird der Betriebsfestigkeitsnachweis an Originalbauteilen erbracht.

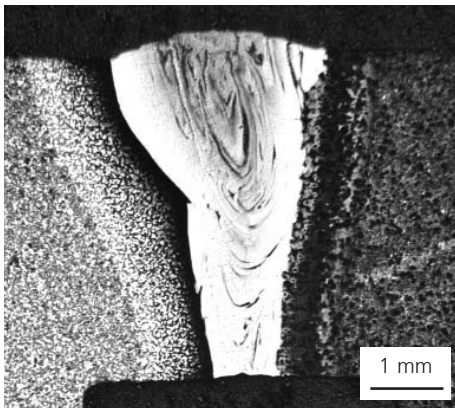


Abb. 1: Querschliff an einer Laserstrahlschweißverbindung GTS55/16MnCr5 mit einem Nickelbasiszusatzwerkstoff

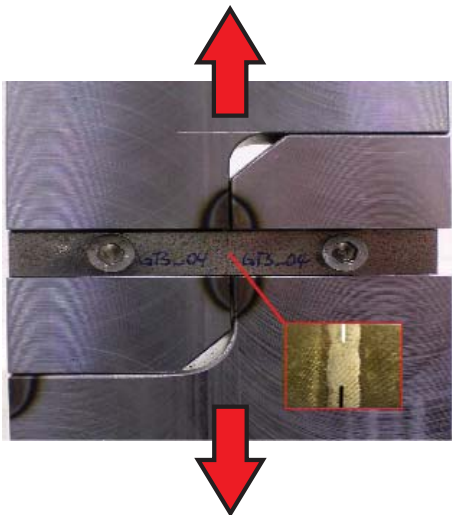


Abb. 2: Schervorrichtung zur Ermittlung der lokalen Scherfestigkeit im Schweißgut

Ansprechpartner

Dr. Jens Standfuß
Tel.: 0351 / 2583 212
jens.standfuss@iws.fraunhofer.de



Laserstrahlschweißen mit Faserlasern - Neue Maßstäbe für Funktionalität und Wirtschaftlichkeit

Aufgabenstellung

In den letzten Jahren sind Faserlaser mit einer dem Nd:YAG-Laser vergleichbaren Strahlqualität [Strahlparameterprodukt von 11,6 bis 8,5 mm · mrad (SSP)] und Laserleistungen bis 20 kW auf den Markt gekommen. Die Schweißbeugung dieser neuen Laser wurde ausführlich untersucht und die spezifischen Vorteile gegenüber anderen Strahlquellen analysiert. Seit kurzem sind jedoch Faserlaser mit einer um den Faktor 6 bis 50fach besseren Strahlqualität verfügbar, die bisher nicht bekannte Leistungsdichten beim Laserschweißen ermöglichen. Nicht bekannt ist der Einfluss dieser hohen Leistungsdichte auf die Nahtausbildung beim Schweißen, die Wechselwirkungsprozesse im Keyhole, die Rückwirkung auf den Laserresonator sowie die Eignung diese Systeme für verschiedene Schweißaufgaben.

Lösungsweg

Das IWS verfügt seit Kurzem über einen 1 kW-Single-Mode-Faserlaser Typ YLR 1000SM und ein 4 kW-System Typ YLR 4000 der Firma IPG mit herausragenden Strahlqualitäten (SPP: 0,35 bzw. 1,8 mm · mrad). Damit wurden Schweißversuche mit Typvertretern der wichtigsten Werkstoffgruppen (Bau-, Einsatzhärte-, rostfreie Stähle, Al-, Mg-Legierungen) unternommen, Schweißnomogramme erstellt, vergleichende Schweißversuche mit anderen modernen Laserstrahlquellen unternommen und erste Applikationsbeispiele erprobt.

Ergebnisse

Die recht umfangreichen Versuchsergebnisse (ausführlicher siehe [1]) lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Faserlaser mit höchster Strahlqualität sind ein sehr effektives Werkzeug zum Schweißen der wichtigsten strahlschweißbaren Werkstoffe mit gering-

stem Wärmeeintrag und sehr geringem Verzug. Mit der extrem hohen Leistungsdichte lassen sich außergewöhnlich schlanke, dem Elektronenstrahlschweißen ähnliche Schweißnähte erzeugen (s. Abb. 1). Die Einschweißtiefe nimmt bis zu einem Werkstoff- und Schweißparameter-abhängigen Grenzwert mit zunehmender Strahlqualität deutlich zu. Dadurch übertrifft die mit Faserlasern höchste Strahlqualität erreichbare Schweißtiefe die aller anderen Laserstrahlquellen deutlich (s. Abb. 2). Der relative Unterschied in den Schweißtiefen nimmt mit der Geschwindigkeit zu. Aus betriebswirtschaftlicher und produktionstechnischer Sicht ergeben sich vorerst besonders interessante Anwendungsgebiete für das Schweißen von Teilen im Pkw-Rohbau, hochpräzisen Bauteilen und Halbzeugen, Blechen, Rohren und Bändern in sehr hohen Geschwindigkeitsbereichen.

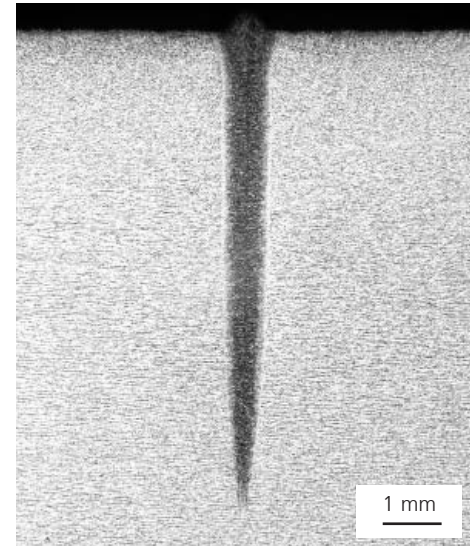


Abb. 1: Querschnitt einer Laserstrahlschweißnaht (Parameter: YLR4000; P = 4 kW; v = 4 m min⁻¹; f = 300 mm; t_s = 8 mm)

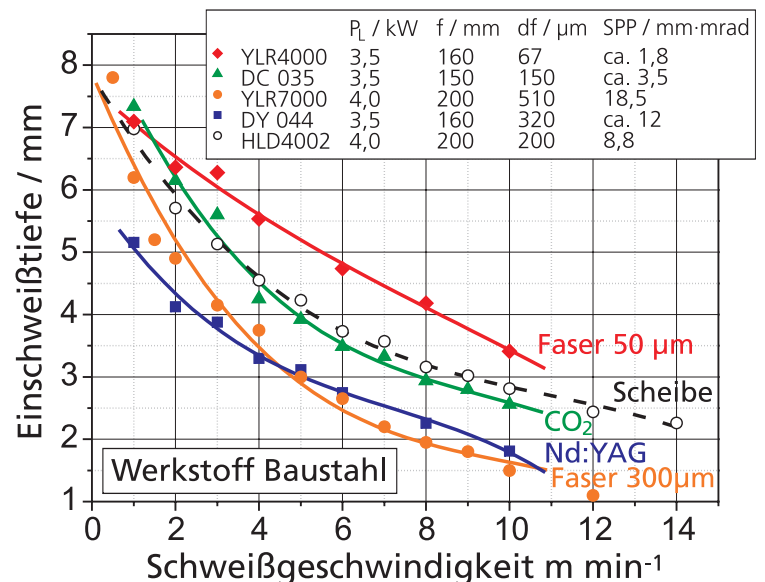


Abb. 2: Vergleich der Schweißnomogramme für verschiedene Laserstrahlquellen

[1] B. Brenner, G. Göbel, D. Dittrich, R. Schedewy, J. Standfuß
Vortrag 1st international Fraunhofer workshop on fiber lasers, IWS Dresden, 22.11.2005

Ansprechpartner

Prof. Berndt Brenner
Tel.: 0351 / 2583 207
berndt.brenner@iws.fraunhofer.de



Rissfreies Laserstrahlschweißen von härtbaren Automatenstählen - eine Vision wird Wirklichkeit

Aufgabenstellung

Heißrisse und insbesondere Erstarungsrisse, die beim Abkühlen einer Schweißnaht entstehen, stellen beim Fügen vieler industriell wichtiger Werkstoffe ein ungelöstes Problem dar. Besonders betroffen sind u. a. Stähle mit verbesserter Zerspanbarkeit (Automatenstähle), da diese aufgrund eines gezielt erhöhten Schwefelgehalts besonders heißrissegefährdet sind (Abb. 1). Schweißverbindungen solcher Stähle untereinander bzw. Mischverbindungen mit diesen sind daher in der Regel nicht möglich. Daher sollte ein industrietaugliches Verfahren gefunden werden, das die Schweißbarkeit ohne Veränderung bzw. Eingrenzung der Zusammensetzung wiederherstellt.

Lösungsweg

Seit längerem beschäftigt sich die Gruppe Schweißtechnik mit Ansätzen, die Schweißbarkeit verschiedener Materialklassen mittels lokaler Wärmeinbringung zu verbessern, hauptsächlich über eine gezielte Verringerung der thermisch-metallurgischen Ursachen der Rissbildungen. Damit konnte auch bei Automatenstählen bereits eine Verbesserung der Schweißbarkeit erreicht werden. Die mechanischen Ursachen (also lokale Zugspannungen) spielen jedoch gerade bei Heißrissen eine mindestens ebenso große Rolle. Eine Einflussnahme auch auf diese Faktoren erscheint daher sinnvoll, wird jedoch in der Literatur bisher nur wenig betrachtet.

Ein entsprechendes Verfahren wurde daher am IWS entwickelt und an besonders heißrisseempfindlichen Materialien, sog. vergütbaren Automatenstählen, getestet.

Grundlage ist die berührungslose Einbringung von zusätzlichen Wärmefeldern mittels Induktion, die ihrerseits lokale Dehnungen erzeugen, die mit der Schrumpfung der Naht überlagert werden. Durch die Volumenwirkung der Induktion ergibt sich eine sehr effektive und kostengünstige Einbringung der erforderlichen Wärme auch bei größeren Blechdicken.

Ergebnisse

Durch Kombination der Einflussnahme auf thermische und mechanische Rissursachen konnten bisher nicht schweißbare Automatenstähle rissfrei geschweißt werden. Vereinfacht wurde die experimentelle Optimierung der komplexen zeitlichen und räumlichen Verteilung der Wärmeinbringung durch numerische Berechnungen der thermisch-mechanischen Eigenschaften des Schweißvorgangs im heißrissekritischen Gebiet (Abb. 2, berechnet in SYSWELD).

Eine direkte Abhängigkeit der erforderlichen Intensität der zusätzlichen Wärmequellen vom Schwefelgehalt bzw. der Blechdicke wurde im Experiment sichtbar und konnte zur Vorhersage der benötigten Einstellungen in Abhängigkeit von den konkreten Bauteilwerten eingesetzt werden. Abb. 3 zeigt einen Vergleich der Festigkeiten unter zyklischer Belastung. Hervorzuheben ist hier, dass die Dauerfestigkeit etwa um den Faktor 4 angehoben werden konnte und alle Proben mit angepasster Wärmeführung im Grundwerkstoff versagten, die Nahtfestigkeit also trotz des hohen Schwefelgehalts mindestens wieder auf Grundwerkstoffniveau lag.

Die Untersuchungen wurden von der DFG (FKZ: BR 1690/2-2) gefördert.

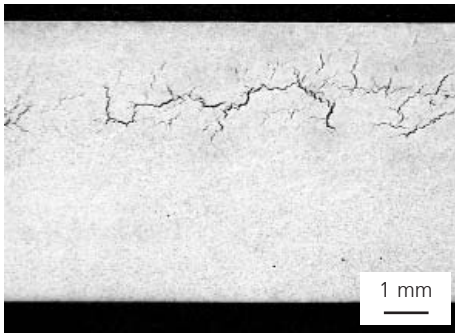


Abb. 1: Naht-Längsschliff: typische Heißrissebildung einer laserstrahlgewweißten Naht eines härtbaren Automatenstahls, Werkstoff: 45S20

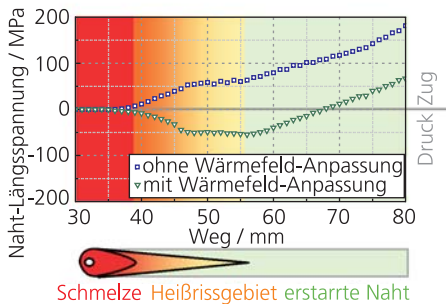


Abb. 2: Berechneter Spannungsverlauf der Naht-Längsspannungen kurz nach dem Schmelzbad: die normalerweise auftretenden schrumpfungsbedingten Zugspannungen werden bei geeigneter Anpassung der Wärmeführung in das Druckgebiet verschoben

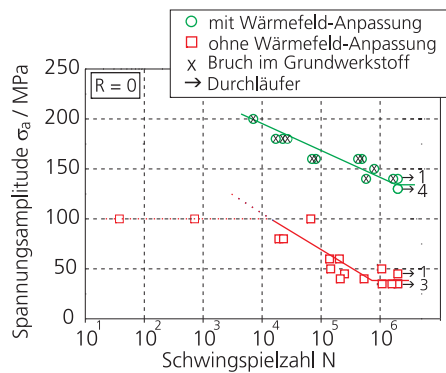


Abb. 3: Ergebnisse der Schwingfestigkeitstests

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Gunther Göbel
Tel.: 0351 / 2583 211
gunther.goebel@iws.fraunhofer.de



Laserstrahlung verbessert die Alterungsbeständigkeit der Klebverbindung

Aufgabenstellung

Kleben bringt im Vergleich zu anderen Fügeverfahren immer dann Vorteile, wenn unterschiedliche Materialien verbunden und weitere Eigenschaften, wie Dämpfung, geringer Wärmeeintrag, günstige Korrosionseigenschaften, ausgeglichener Kraftfluss- und Spannungsverlauf, Erhöhung der Struktursteifigkeit und Crashstabilität sowie günstiges Verhalten unter schwingender und stoßartiger Belastung erzielt werden sollen.

Vor allem Leichtmetalllegierungen müssen zur Gewährleistung der Langzeitstabilität der Klebverbindung vorbehandelt werden. Derzeitig werden vor allem nasschemische Methoden angewandt, in zunehmendem Maße kommen aber physikalische Verfahren wie Laser und Atmosphärenplasma zum Einsatz. Ein Grund dafür ist das Bestreben, nur die Flächen vorzubehandeln, die anschließend auch geklebt werden.

Weitere Vorteile der physikalischen Verfahren sind die berührungslose Arbeitsweise, eine hohe Reproduzierbarkeit und die Integrierbarkeit in Produktionsprozesse. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden Laser in der Klebtechnik kaum industriell eingesetzt. Aus diesem Grunde sollte die Auswirkung der Fügevorbehandlung mittels Laserstrahlung auf die Festigkeit und Alterungsbeständigkeit von Leichtmetallklebungen untersucht werden.

Lösungsweg

Für die Vorbehandlung wurde ein cw-angeregter gütegeschalteter Nd:YAG-Laser (CLA050, Clean Lasersysteme GmbH, Wellenlänge: 1064 nm, maximale mittlere Leistung: 120 W) verwendet. Das Lasersystem (Abb. 2) gestattet sowohl eine automatisierte als auch eine manuelle Vorbehandlung

von 2D- und 3D-Strukturen. Die Vorbehandlung kann durch die Variation von Pulsfrequenz, Scangeschwindigkeit und Intensität gezielt beeinflusst werden. Die Verbesserung der Klebfestigkeit durch eine Laserbehandlung wurde z. B. an Proben aus der Magnesiumdruckgusslegierung AZ91HP untersucht. Die Klebfestigkeiten wurden vor und nach einer VDA-Alterung im Zugscherversuch geprüft.

Ergebnisse

Nach der Laservorbehandlung wurden stark erniedrigte Kontaktwinkel gemessen, d.h. die Benetzbarkeit wurde deutlich verbessert. Signifikante Rauheitsänderungen konnten auf der ohnehin rauen Druckgussoberfläche nicht beobachtet werden. Im Rasterelektronenmikroskop wurden aber für die mit dem Laser bearbeiteten Oberflächen deutliche, flächendeckende Aufschmelzungen gefunden (Abb. 3).

Durch Röntgenbeugung konnten Strukturänderungen, z.B. eine Kornfeinerung, nachgewiesen werden. Veränderungen der chemischen Zusammensetzung der Oberfläche wurden mittels XPS ermittelt. REM-Untersuchungen und elektrochemische Impedanzmessungen (EIS) zeigten eine submikroskopische Oxidbildung auf der Oberfläche. Dabei wurden Zusammenhänge der Ergebnisse mit der eingebrachten Energie des Lasers deutlich.

Für die mit Nd:YAG-Laser bestrahlten Proben konnte im Vergleich zu nach konventionellen Verfahren vorbehandelten Proben eine Steigerung der Klebfestigkeit vor allem auch nach einer Alterung erreicht werden (Abb. 1).

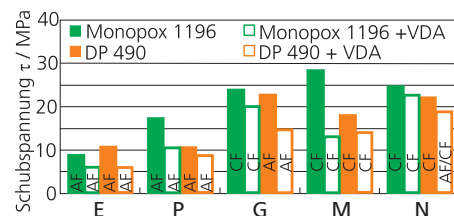


Abb. 1: Zugscherfestigkeit geklebter Magnesiumverbindungen für verschiedene Vorbehandlungsmethoden vor und nach Alterung
entfettet (E), Pyrosil (P), Gelbchromatierung (G), Magpass (M), Nd:YAG-Laser (N)
AF: Makroskopisch adhäsiver Bruch
CF: Kohäsiver Bruch

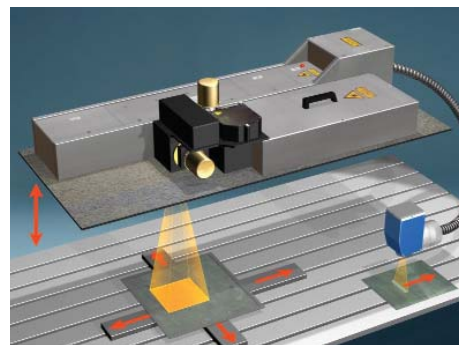


Abb. 2: Schematische Darstellung des Lasersystems

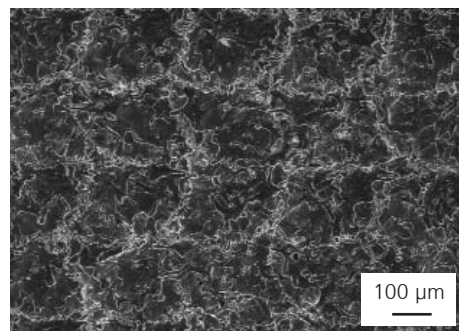


Abb. 3: REM-Aufnahme der laserbestrahlten Oberfläche

Ansprechpartner

Dr. Irene Jansen
Tel.: 0351 / 4633 52 10
irene.jansen@iws.fraunhofer.de



Forschungs- und Entwicklungsangebot: Laserabtragen und -trennen, Systemtechnik

Redaktion: Ihre Abteilung setzt das Mikrostrukturieren und die Mikrobearbeitung mit Lasern zunehmend für die Forschung und Entwicklung im Bereich der Medizintechnik und der Biotechnologie ein. Welche Perspektiven hat die Photonik im Bereich Life Science?

Dr. Morgenthal: Das IWS hat in den letzten Jahren strategische Partnerschaften aufgebaut, die es ermöglichen, komplexe Systeme für Life Science Applikationen auf einer Plattform zu realisieren. Beispiel dafür ist die Entwicklung eines universellen Chips zur markierungsfreien Detektion von Biomolekülen wie DNA und Proteinen. Die Photonik bietet hier Möglichkeiten von der Oberflächenfunktionalisierung dieser Chips oder der Erzeugung komplexer Zelleitstrukturen bis hin zur Herstellung von Spritzgusswerkzeugen und zum Fügen bzw. Schweißen kostengünstiger Polymerchips. Marktstudien prognostizieren, dass der Weltmarkt für molekulare Diagnostik, als nur einem Anwendungsgebiet für die entwickelten Technologien, von seinem heutigen Volumen von ca. 1,5 Mrd. US\$ in den nächsten fünf Jahren auf 3,7 Mrd. US\$ wachsen wird.

Redaktion: Die Remote-Technologie in Kombination mit der »on the fly«-Bearbeitung von Bauteilen und Halbzeug wurde im letzten Jahr in Fachkreisen verstärkt diskutiert. Welches Potenzial sehen Sie in diesem Bereich?

Dr. Morgenthal: Das robotergeführte Remote-Schweißen mit der »on the fly«-Bearbeitung großer Bauteile wird bei der Fertigung neuer Modelle im Automobilbau einen Teil der konventionellen Punktschweißungen ersetzen. Antrieb dafür ist die nach einer McKinsey Studie mögliche Verkürzung der Teiletaktzeiten um bis zu 60 %. Die im Fraunhofer IWS in den letzten Jahren dafür entwickelten system- und verfahrenstechnischen Bausteine, wie

kompakte, hochdynamische 3D-Strahlableitungs-systeme, Software für eine korrespondierende Laser- und Scanneransteuerung und Bahnplanungstools für die effektive off-line-Programmierung des komplexen vielachsigen Bearbeitungssystems versetzen uns hier in die Lage, gemeinsam mit Partnern Gesamtlösungen anzubieten. Außerdem gehen wir auch davon aus, dass die jetzt verfügbaren neuartigen Festkörperlaserstrahlquellen mit deutlich verbesserter Strahlqualität, Effizienz und Lebensdauer, die Faser- und Scheibenlaser, diesen Prozess befördern werden.

Darüber hinaus hat diese Technologie auch das Potenzial, die Produktivität beim Konturschnitt nichtmetallischer Materialien deutlich zu erhöhen.



*Die ungelösten Probleme
halten einen Geist lebendig,
nicht die gelösten.*

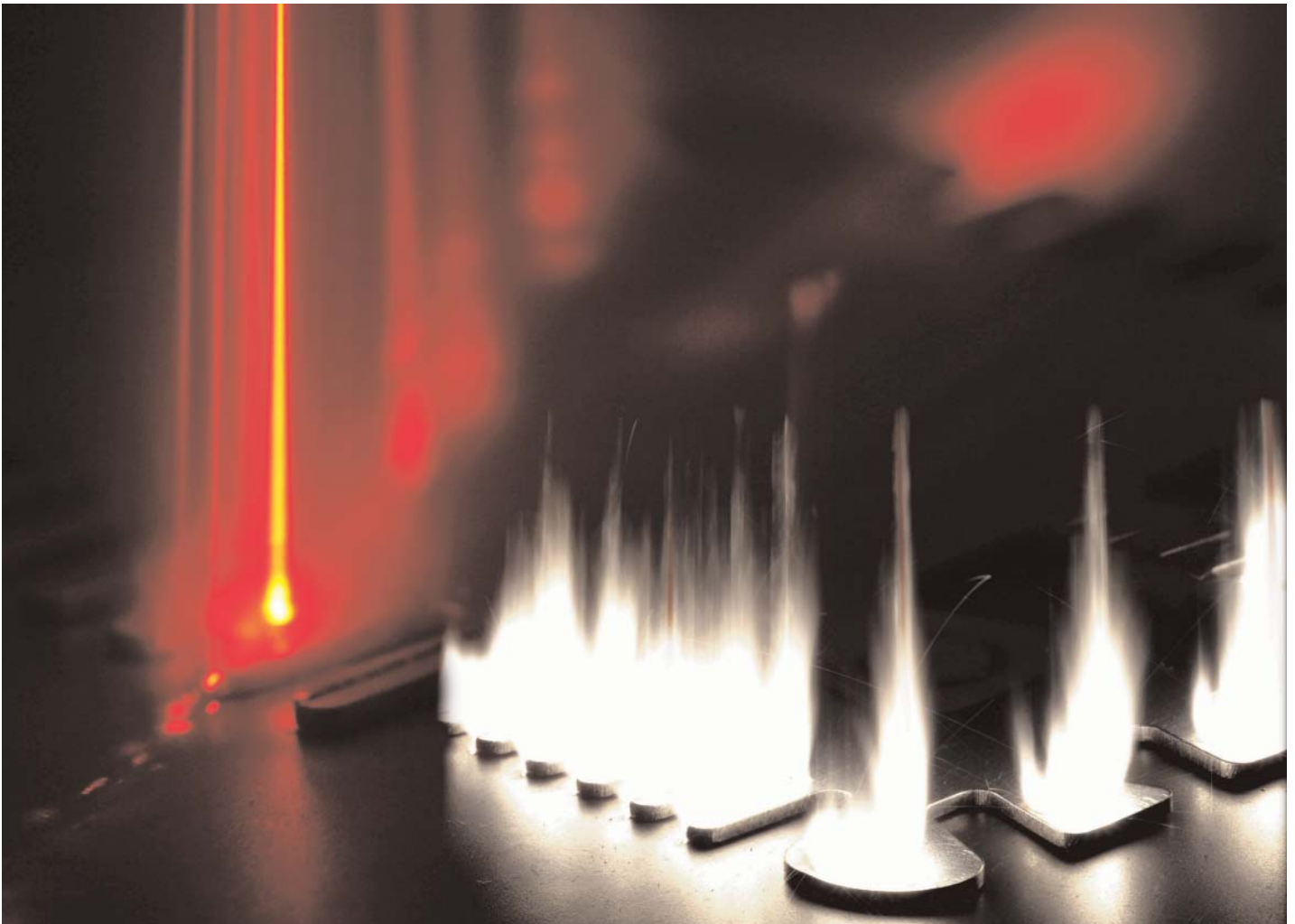
Erwin Guido Kolbenheyer



Dr. Lothar Morgenthal
Abteilungsleiter
(Tel. 2583 322,
lothar.morgenthal@iws.fraunhofer.de)

Beispiele aus den Arbeiten 2005

1. Remoteschweißen mit YAG-Lasern 42
2. Fehlerfreies Laserstrahlschweißen von Getriebebauteilen durch Laserreinigung 43
3. Maßgeschneiderte Mikrofluidiksysteme für Lab-on-a-Chip, das miniaturisierte Labor 44
4. 3D-Laserstrahlschneiden - schnell und präzise 45



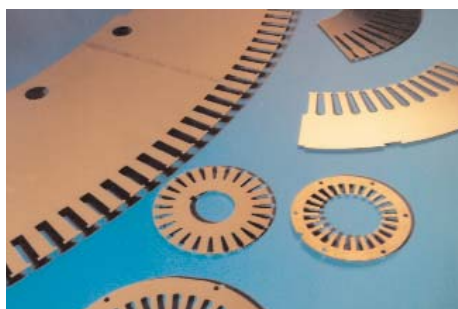


Dr. Lothar Morgenthal
 Gruppenleiter Schneiden
 und Systemtechnik
 (Tel. 2583 322,
 lothar.morgenthal@iws.fraunhofer.de)

Laserstrahlschneiden

Angeboten wird angewandte Forschung zum Laserstrahlschneiden mit Lasern unterschiedlicher Strahlleistung und Wellenlänge für Bauteile mit Abmessungen vom Millimeter- bis in den Meterbereich. Schwerpunkt ist das form- und maßgenaue Hochgeschwindigkeitsschneiden auf hochdynamischen Schneidmaschinen mit Linear- direktantrieben oder durch Strahl- ablenkung. Für die Qualitätssicherung steht ein Flat Part Measurement & Digitizing Scanner System für Teile- größen bis 1800 mm x 1200 mm zur Verfügung. Dazu bieten wir an:

- Technologie- und Systementwick- lung, -erprobung, -optimierung,
- Machbarkeitstests, Musterfertigung zu allen Varianten des Laserstrahl- schneidens an Werkstoffmustern und Bauteilen,
- Entwicklung von Systemkomponen- ten für Hochgeschwindigkeitsprozes- se sowie für Prozesskontrolle und -regelung.



Laserstrahlgeschnittene Elektrobleche



Dipl.-Ing. Udo Klotzbach
 Gruppenleiter Mikrobearbeiten und
 Reinigen
 (Tel. 2583 252,
 udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de)

Mikrostrukturieren mittels Laser

Die umfangreiche und moderne Aus- stattung sowie das fundierte Know- how ermöglichen angewandte For- schungen zur Mikro- und Feinbearbei- tung mit Laserstrahlen für die Miniatur- isierung von Funktionselementen im Maschinen-, Anlagen-, Fahrzeug- und Gerätebau und die Bio- und Medizin- technik. Beispiele sind 3D-Strukturen im Sub-mm-Bereich und Flächenstruk- turen an Polymeren, Metallen, Kerami- ken oder quarzitischen und bio- kompatiblen Werkstoffen.

Wir bieten an:

- Mikrostrukturierung unterschiedli- cher Werkstoffe mit Excimer-, Faser- und Nd:YAG-Lasern
- Mikrobohren mit hohen Aspektver- hältnissen und unterschiedlichen Bohrungsgeometrien,
- Reinigen mit Lasertechnik.

Systemtechnik, Fertigungstechnik

Die Abteilungen des IWS bieten die serienreife Realisierung verfahrens- angepasster Systemlösungen zu folgen- den Arbeitsgebieten an:

- Bearbeitungsoptiken, Strahlablen- ksysteme für die Hochgeschwindig- keits- und Präzisionsbearbeitung sowie Prozesskontrolle und -rege- lung,
- Handlingsysteme, Prozesskontrolle und -regelung für den industriellen Einsatz von Hochleistungs-Dioden- lasern zur Oberflächenveredlung,
- Prototypentwicklung von Beschich- tungsanlagen bzw. deren Kern- modulen für die PVD-Präzisionsbe- schichtung von Stückgut und die kontinuierliche Atmosphärendruck- Band-PVD inklusive Anlagen- und Prozesssteuerung (Software),
- Prozesskontrolle und -regelung für Beschichtungsprozesse,
- Messsysteme zur Schichtcharakteri- sierung bzw. zerstörungsfreien Bau- teilprüfung mittels laserakustischer und spektroskopischer Methoden.



Schweißen der Rohr-Boden-Verbindung am Abgaswärmetauscher unter Nutzung einer Strahlablenkoptik



Mobile Anlage zur rutschhemmenden Aus- rüstung von Natursteinen



Remote-Schweißen mit YAG-Lasern

Vorteile

Für Anwendungen im Karosseriebau, zur Substitution des Widerstandspunktschweißens, findet das Remote-Schweißen mit Festkörperlasern gegenwärtig große Resonanz in der Automobil- und Zuliefererindustrie. Beim Remote-Schweißen kann durch die schnelle Strahlpositionierung die Prozessnebenzeit deutlich gesenkt werden. Dadurch verbessert sich die Wirtschaftlichkeit des technisch vorteilhaften Laserschweißens deutlich. Neuesten Studien zufolge soll im Jahre 2015 der Anteil der Remote-Technik an allen Fügeaufgaben im Karosseriebereich 8 - 10 % betragen. Dies ist angesichts der kurzen Historie der Hochleistungs-Remote-Technik beachtlich. Erste Industrieapplikationen mit Hochleistungs-CO₂-Lasern wurden in den späten 90er Jahren in den USA umgesetzt. Roboterbasierte Remotesysteme für die Bearbeitung »on the fly« sind sogar erst seit ca. 1,5 Jahren mit der Verfügbarkeit von diodengepumpten YAG-Lasern als Industrieprodukte einsetzbar. Triebkräfte dieser neuen Technologie sind der Kostendruck und die Möglichkeit, die Flexibilität der Produktionslinien zu steigern.

Lasertronic® SAO1.06

Das Remote-Bearbeitungssystem besteht aus der entwickelten 3D-Strahlablenkoptik und einem konventionellen Industrieroboter, die durch ihre spezielle Steuerung als gekoppeltes Achssystem betrieben werden können. Laserstrahlquelle ist ein YAG-Hochleistungslaser sehr guter Strahlqualität. CAD / CAM-Lösungen für die offline-Programmierung, Bahnplanung und Joboptimierung komplettieren die Systemlösung.

Während der Schweißbearbeitung übernehmen die drei Achsen der Strahlablenkoptik die hochdynamischen Bewegungsanteile der Laserfleckbewegung. Der Industrieroboter

bewegt gleichzeitig die Strahlablenkoptik und sorgt damit für eine optimale Erreichbarkeit und Zugänglichkeit zu den Schweißpositionen. Die exakte zeitliche und örtliche Synchronisation der Bewegungsachsen garantiert sehr hohe Bearbeitungsgenauigkeiten.

Optikauslegung und Prozessabbildung

Die Strahlablenkoptik für das Remote-Schweißen mit YAG-Lasern ist modular aufgebaut und besteht aus einer Strahlablenkeinheit und der Strahlfokussierung. Das Kernstück der Strahlablenkeinheit bilden die leichten Umlenkspiegel, die von Galvanometerscannern bewegt werden. Die Auslegung der Strahlablenkoptik kann den Erfordernissen der Anwendung angepasst werden. Alle optischen Komponenten sind für die Übertragung von bis zu 4 kW Laserleistung ausgelegt. Spezielle Kühl-, Überwachungs- und Sicherheitsstrategien sichern einen fehlerfreien Betrieb auch unter harten Produktionsbedingungen. Zur Überwachung des Schweißprozesses ist die Strahlablenkoptik mit Komponenten zur Prozessabbildung und -diagnose ausgestattet.

Bahnplanung und Taktzeitoptimierung

Prozessplanung, -optimierung und -steuerung sind wichtige Elemente für die Remotebearbeitung von 3D-Bauteilen. Deshalb hat das IWS zusammen mit Industriepartnern eine Bahnplanungssoftware entwickelt, welche eingebettet in eine kommerzielle CAD / CAM-Lösung eine interaktive Bahnplanung und Teiletaktzeitoptimierung für das Remote-Schweißen mit Industrierobotern ermöglicht. Dadurch wird die Komplexität der Bewegungsprogrammierung für die zwei dynamisch sehr unterschiedlichen Achssysteme wie den Roboter und die Strahlablenkoptik für den Nutzer transparent und effektiv beherrschbar.



Abb. 1: Strahlablenkoptik lasertronic® SAO1.06 für das Remote-Schweißen mit Hochleistungs-YAG-Lasern

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Annett Klotzbach
Tel.: 0351 / 2583 235
annett.klotzbach@iws.fraunhofer.de



Fehlerfreies Laserstrahlschweißen von Getriebebauteilen durch Laserreinigung

Aufgabenstellung

Vollautomatische Laserschweißprozesse bei der Getriebefertigung erfordern ein Höchstmaß an Prozesssicherheit, um die Kosten für die Qualitätssicherung zu dämpfen. Fremdstoffe wie Kühlschmierstoffe, Verschmutzungen, Phosphatschichten, Konservierungsmittel und andere Substanzen können zu Fehlern in der Schweißnaht führen. Die gleichbleibende Sauberkeit der Fügestellen hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Reproduzierbarkeit und Qualität des Schweißergebnisses. Daraus ergibt sich die Forderung nach einer in den Fertigungsprozess integrierbaren Fügestellenreinigung. Vormontierte Bauteile, wie beispielsweise Differentiale, stellen eine besondere Herausforderung dar. Eine konventionelle nasse Reinigung ist nicht möglich, da Lager ebenfalls entfettet würden. Gefragt ist ein partiell wirkendes, lokal begrenzt arbeitendes Reinigungsverfahren.

Lösungsweg

Als Lösung bietet sich der Laserreinigungsprozess an, der mit konstant hoher Strahlintensität bei extrem kurzer Wechselwirkungszeit arbeitet (Abb. 1). Unter Ausnutzung der unterschiedlichen optischen Eigenschaften von Bauteilwerkstoff und Verunreinigung ist es möglich, Schmutzschichten vom Bauteil schadungsfrei abzutragen. Die eingestrahlte Laserenergie wird in Wärme umgewandelt. Diese Wärmemenge ist ausreichend, um das zu entfernende Material rückstandsfrei zu verdampfen.

Um bei hohen Laserleistungen extrem kurze Wechselwirkungszeiten und hohe Abtragsraten für den Reinigungsprozess zu erzielen, ist die Strahlblenkoptik lasertronic® SAO 10.6(1D) im IWS entwickelt worden, die einen

Laserstrahlfleck hoher Intensität äußerst schnell und präzise auf der Bauteiloberfläche bewegen kann (Abb. 2).

Diese Strahlblenkoptik gestattet eine hochfrequente Bewegung des Wirkflecks senkrecht zur Vorschubrichtung. Durch die Variation der Ablenkamplitude des verwendeten Galvanometer-scanners ist die Reinigungsspurbreite einstellbar. Zusätzlich ermöglicht eine von der Scannerposition abhängige Laserleistungssteuerung eine flexible Anpassung der Reinigungsparameter an die jeweils gewünschte Bauteilgeometrie. Die punktgenaue Bewegungssteuerung des Galvanometerscannerspiegels erfolgt über eine in einen Industrie-PC integrierbare modular ausbaubare PC-Karte. Die Kommunikation mit der Laseranlagen-CNC erfolgt über digitale Schnittstellen und Profibus.

Ergebnisse

Das Laserreinigen von Fügestellen mit nachfolgendem Laserstrahlschweißen von Gusseisen mit Einsatzstahl als Mischverbindung in der Differentialgetriebefertigung wurde bereits mehrfach erfolgreich industriell umgesetzt. Die Laserreinigung erfolgt dabei in der gleichen Taktzeit wie das Laserstrahlschweißen. Durch den Einsatz der Strahlblenkoptik lasertronic® SAO 10.6(1D) konnten die Pausenzeiten beim Werkstückwechsel des Lasers für den vorgelagerten Reinigungsprozess ausgenutzt werden. Die für den Schweißprozess verwendete Strahlquelle wurde auch für die partielle Fügestellen-Reinigung genutzt. Dadurch konnte der Anteil der Strahl-nutzungszeit des Lasers um den Faktor zwei erhöht werden.



Abb. 1: Laserreinigungsprozess

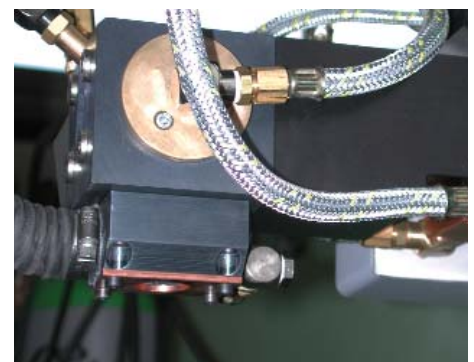


Abb. 2: Strahlblenkoptik lasertronic® SAO 10.6(1D)

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jan Hauptmann
Tel.: 0351 / 2583 236
jan.hauptmann@iws.fraunhofer.de



Maßgeschneiderte Mikrofluidiksysteme für Lab-on-a-Chip, das miniaturisierte Labor

Aufgabenstellung

Lab-on-a-Chip - das miniaturisierte Labor - ist zukünftig aus den Anwendungsbereichen Diagnostik, Analytik, Wirkstoffforschung, Biotechnologie, Medizintechnik und Chemie nicht mehr wegzudenken. Wesentliche Bestandteile solcher Systeme sind neben sehr sensitiven Detektoren ausgeklügelte

Mikrofluidiksysteme, mit deren Hilfe die zu analysierenden Medien durch den Chip transportiert, aufgereinigt, gemischt, dosiert und zur Reaktion gebracht werden. Weiterhin gewinnt die Mikrofluidik bei der Herstellung von Lab-on-a-Chip-Systemen zunehmend an Bedeutung, da sie durch Verfahren wie das direkte oder inverse Mikrokontaktdrucken eine effektive, hochaufgelöste und reproduzierbare Immobilisierung von Nachweismolekülen auf den Sensoroberflächen ermöglicht.

Hierfür sind die Mikrofluidiksysteme so zu gestalten, dass auch Moleküle mit maximalem Abstand von der Sensorfläche beim Überströmen mit großer Wahrscheinlichkeit durch Diffusion bis zur Sensorfläche gelangen und dort reagieren können.

Lösungsweg

Für die effektive Entwicklung von anwendungsspezifischen Mikrofluidiksystemen wurde am IWS eine geschlossene Prozesskette vom Design über die Simulation und das Rapid Prototyping bis hin zur Herstellung von Werkzeugen für die Serienfertigung entwickelt. Der Entwurf der Mikro-

fluidiksysteme erfolgt mittels CAD-Software. Die 3D-Daten werden in ein Strömungssimulationssystem exportiert, vernetzt und ausgehend von den anwendungsspezifischen Randbedingungen das Geschwindigkeitsfeld berechnet. Für die Nachbildung der biochemischen Prozesse wurde ein Modul entwickelt, welches durch Überlagerung von Geschwindigkeitsfeld und Brownscher Molekularbewegung die Zahl der nachzuweisenden bzw. ankoppelnden Moleküle berechnet. Ist die Simulation erfolgreich, werden im Rapid Prototyping durch Kombination von Fräsen und Laserbearbeitung Master für die Abformung von PDMS Flusszellen hergestellt. Im weiteren Verlauf können bei der Abformung der Flusszellen zusätzliche Komponenten wie Membranen oder Fluidikanalanschlüsse integriert werden. Hat sich das System bewährt, können ausgehend von den 3D-Daten Werkzeuge für die Serienfertigung abgeleitet und gefertigt werden.

Ergebnisse

Mit Hilfe der Technologieketten konnten maßgeschneiderte Mikrofluidiksysteme für SPR basierte DNA- und Proteinchips entworfen und hergestellt werden, die durch optimierte Strömungsprofile ihren Anforderungen in vollem Umfang gerecht werden. Weiterhin wurde ein Mikrofluidiksystem für die Funktionalisierung von Chips entwickelt, welches die parallele Funktionalisierung von 50 Messflächen mit einer Breite und einem Abstand von 100 µm und einer Länge von 3 mm mit unterschiedlichen Molekülen durch inverses Mikrokontaktdrucken erlaubt.

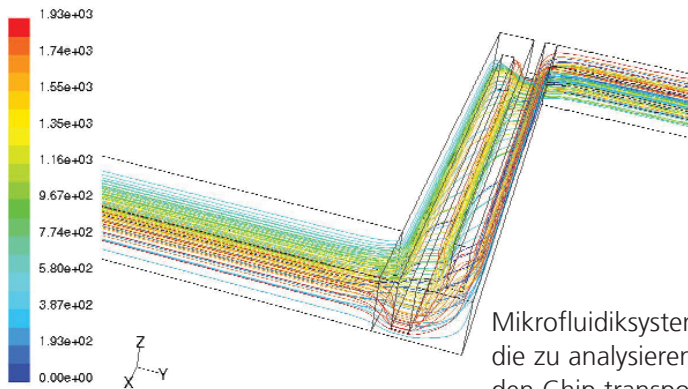


Abb. 1: Simulation eines Mikrofluidiksystems

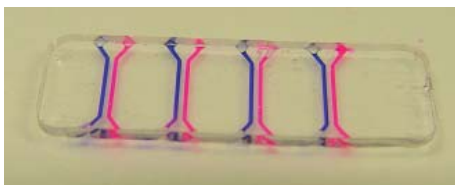


Abb. 2: Flusszelle zur ortselektiven Funktionalisierung von Proteinchips (Kanalbreite 50 µm)

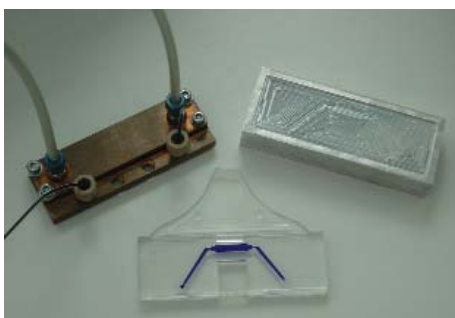


Abb. 3: Anschlussplatte mit Temperierung, DNA-Chip mit Flusszelle, gefräster Master zur Abformung der Flusszellen

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Frank Sonntag
Tel.: 0351 / 2583 259
frank.sonntag@iws.fraunhofer.de



3D-Laserstrahlschneiden - schnell und präzise

Aufgabenstellung

Automobilhersteller und ihre Zulieferer setzen beim Einsatz umgeformter Blechbauteile auf immer höhere Materialfestigkeiten. Dadurch wird die Endkontur dieser Bauteile immer schwieriger durch das bisher eingesetzte Stanzen herstellbar. Dieser Trend forciert die Anwendung des Laserstrahlschneidens für die Fertigbearbeitung dieser 3D-Bauteile.

Dreidimensional kompliziert geformte Werkstücke mit hoher Präzision und in kurzen Taktzeiten zu bearbeiten, ist auch für das Laserstrahlschneiden eine Herausforderung, insbesondere in Bezug auf das Strahl- bzw. Teilehandhabungssystem. Die Vorhersage von Teiletaktzeiten und erreichbaren Schnittqualitäten wird von wesentlich mehr Faktoren als beim 2D-Schnitt beeinflusst. Für belastbare Aussagen ist eine praxisnahe experimentelle Verifizierung der Ergebnisse unterschiedlicher Bearbeitungsstrategien fast immer erforderlich und stand hier als Aufgabe.

Lösungsweg

Für Forschungsarbeiten und anwendungsbezogene Untersuchungen zum 3D-Laserstrahlschneiden wurde im IWS in enger Zusammenarbeit mit der Maschinenfabrik K. H. Arnold GmbH & Co. KG in Ravensburg ein neues Anlagenkonzept einer 3D-Laserbearbeitungsanlage realisiert. Die im Januar 2005 in Betrieb genommene Anlage (Abb. 1) ermöglicht die Laserbearbeitung von Bauteilen in einem Arbeitsraum von 4200 x 2500 x 1000 mm³ mit Abweichungen von der Positioniergenauigkeit unter 30 µm. Lineardirektantriebe für die wichtigsten kartesischen Achsen und Torqueantriebe für die Rotationsachsen realisieren Vorschubgeschwindigkeiten bis 100 m min⁻¹ bei hohen Beschleunigungen. Mit den zwei Bearbeitungsköpfen

können alternativ oder synchron unterschiedliche Bearbeitungsverfahren (Schneiden, Schweißen) oder verschiedene Laserstrahlquellen (CO₂-, Faser-Laser) ohne zeit- und kostenintensive Umbauarbeiten genutzt werden. Für die Simulation der Bearbeitungsstrategie und das Erstellen der NC-Programme wird das 3D-off-line Programmiersystem FasTrim eingesetzt. Es nutzt die leistungsfähige Fertigungs- und Simulationsstruktur von Delmia / Catia.

Als weitere Anlagentechnik für das 3D-Laserstrahlschneiden besitzt das IWS einen Roboter mit hoher Bahnengenauigkeit (KR 30 HA). Kombiniert mit Faserlaserquellen von bis zu 4 kW steht damit eine interessante Alternative zur konventionellen Portalanlage für die Untersuchungen zur Verfügung.

Ergebnisse

Eine grundsätzliche Aufgabe fast aller Untersuchungen ist die Minimierung der Teiletaktzeit bei gegebener Schneidgenauigkeit und -qualität. Für ein typisches 3D-Schneidteil, eine C-Säule (Abb. 2) konnte beim Schneiden auf der 3D-Laserbearbeitungsanlage eine bis zu 40 % geringere Taktzeit im Vergleich zum Schneiden mit dem Roboter erzielt werden. Die dabei geforderten Genauigkeiten lagen im Bereich von + 0,1 mm zur Sollkontur.

Da fast die Hälfte der Teiletaktzeitverringerung auf der 3D-Laserbearbeitungsanlage durch Optimieren der Maschinendaten und des Bearbeitungsregimes erzielt wurden, bedeutet die Taktzeitdifferenz zum Roboter nicht dessen grundsätzliche Unterlegenheit für das 3D-Laserstrahlschneiden.



Abb. 1: 3D-Hochgeschwindigkeits-Laserschneid-anlage

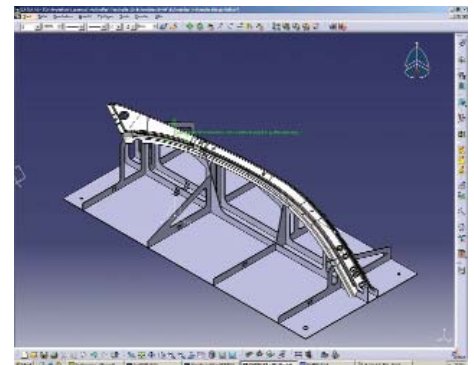


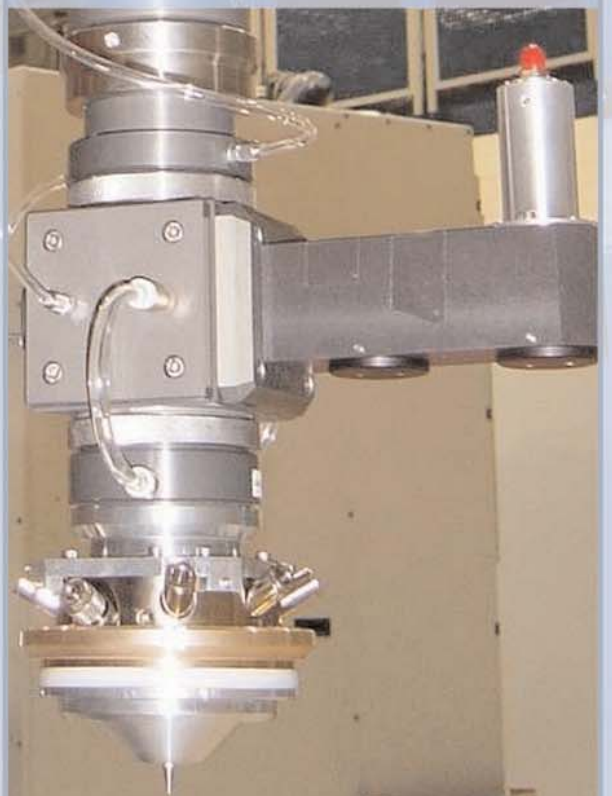
Abb. 2: Simulation 3D-Schneidteil (Catia / FasTrim)



Abb. 3: Geschnittene C-Säule

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Eduard Pfeiffer
Tel.: 0351 / 2583 238
eduard.pfeiffer@iws.fraunhofer.de



Forschungs- und Entwicklungsangebot: Thermische Beschichtungsverfahren

Redaktion: Die Verfahrensgruppe des Thermischen Spritzens ist eine der tragenden Säulen Ihrer Abteilung. Mit der nunmehr abgeschlossenen Neuinstallation war auch die technische Erweiterung auf das attraktive Hochgeschwindigkeits-Flammspritzens (HVOF) verbunden. Welche Möglichkeiten eröffnet dieses für Ihre Kunden auf dem entsprechenden Markt?

Dr. Nowotny: Durch diese Verfahrensvariante können vollkommen neue Anwendungspotenziale des Thermischen Spritzens erschlossen werden. So war noch vor wenigen Jahren der Einsatz von Hartmetallschichten bei intensiven Punkt- und Linienbelastungen undenkbar. Heute sind hochbelastbare karbidische Schichten herstellbar, die selbst den teilweise extremen Beanspruchungen in Verbrennungsmotoren standhalten. Neue werkstofftechnische Lösungen ergeben sich weiterhin auch dort, wo Hartmetalle, wie zum Beispiel WC/Co, aus Gewichts- und Kostengründen nicht für Massivbauteile eingesetzt werden können. Die nunmehr herstellbaren Schichten verfügen über Eigenschaften, die klassischem Sinterhartmetall ähnlich sind, und bringen damit diese Werkstoffgruppe in gespritzter Form für den Anwender wieder ins Spiel.

Redaktion: Das Laserstrahl-Auftragschweißen entwickelt sich sichtbar zu einem Standardverfahren für Präzisionsaufgaben in der modernen Fertigung. Welche Aufgaben ergeben sich daraus für das Gebiet der Verfahrens- und Systemtechnik, was konnte erreicht werden?

Dr. Nowotny: In dem Maße, wie sich das Laser-Pulver-Auftragschweißen in der industriellen Fertigung zu etablieren beginnt, wächst die Nachfrage an serientauglichen Lösungen zur Integration der Verfahrens in den Produktionsablauf. So bewährt sich das weiterentwickelte off-line-Programmiersystem DCAM als komfortables Werkzeug in der Fertigungsvorbereitung. Es

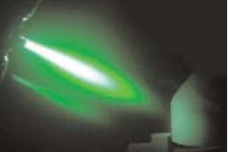
steht nunmehr verfahrensübergreifend für verschiedene Lasertechnologien wie auch für das Thermische Spritzen zur Verfügung. Neben der Bahnprogrammierung sowohl von CNC-Maschinen als auch Robotern unterstützt es die Gestaltung der jeweiligen Bearbeitungsstrategie und die Wahl der Prozessparameter. Das modulare Pulverdüsensystem COAXn konnte um verkleinerte Varianten zur leichteren Integration in Maschinen und spezielle Diodenlaserdüsen erweitert werden. Aktuell wird an einer Version gearbeitet, die für die neue Faserlasertechnologie tauglich ist. Ein Überführungsbeispiel der gesamten Prozesskette ist eine Roboteranlage, die zum Auftragschweißen und Härten in der Werkzeugfertigung und -instandsetzung verwendet wird.

Redaktion: Generierende Fertigungsverfahren zur schnellen Muster-, Bauteil- und Werkzeugherstellung aus den Original-Konstruktionswerkstoffen sind weltweit im Wachsen begriffen. Wie steht es um die am IWS verfügbaren Rapid-Technologien?

Dr. Nowotny: Das auf dem Laserstrahl-Auftragschweißen beruhende DMD-Verfahren (Direct Metal Deposition) wird für verschiedene Titan-, Nickel- und Kobalt-Legierungen sowie Stähle auf industrieller Anlagentechnik durchgängig beherrscht. Darüber hinaus steht für die schnelle und flexible Fertigung formkomplizierter Kunststoffteile das neue Precise Cast Prototyping (pc_{PRO}) zur Verfügung. Die Fertigung kleinerer Bauteile ist mit diesem Verfahren bereits ab Stückzahl Eins wirtschaftlich. Zur Herstellung von Großwerkzeugen konnte die MELATO®-Technologie weiter vervollkommen werden. Im Auftrag von Kunden aus dem Automobil- und Metallurgiebereich gefertigte Werkzeuge haben umfangreiche Tests unter Produktionsbedingungen erfolgreich absolviert.



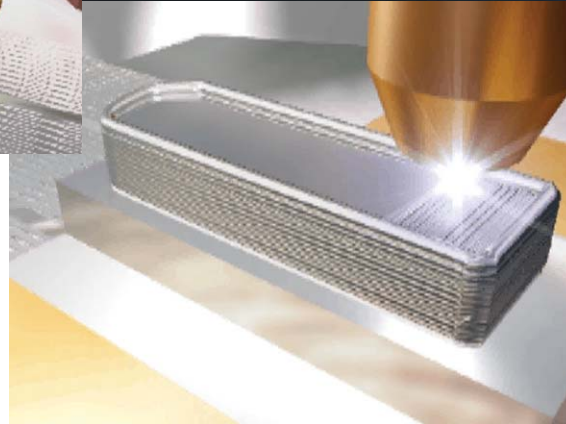
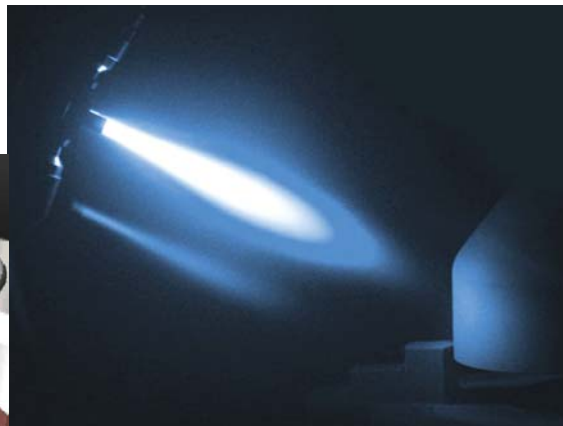
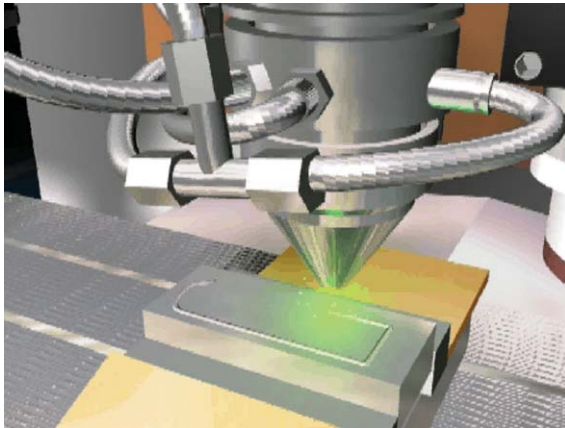
*Wer die Laterne trägt,
stolpert leichter als wer ihr folgt.*
Jean Paul

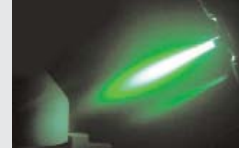


Dr. Steffen Nowotny
Abteilungsleiter
(Tel. 2583 241,
steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de)

Beispiele aus den Arbeiten 2005

1. Oxidation von Hartmetall-schichten 50
2. Off-line-Programmiersystem zum Laserstrahl-Auftragschweißen 51
3. COAXn: Modulare Systemtechnik zum Laserstrahl-Präzisions-auftragschweißen 52
4. Werkzeugbau mit der MELATO®-Prozesskette für Anwendungen im Automobilbereich 53





Dr. Lutz-Michael Berger

Gruppenleiter Thermisches Spritzen
(Tel. 2583 330,
lutzmichael.berger@iws.fraunhofer.de)

Verschleißschutz und funktionale Beschichtungen

Zum Beschichten von Bauteilen aus Stahl, Leichtmetallen oder anderen Werkstoffen mit Metallen, Hartmetallen und Keramik stehen im IWS das atmosphärische (APS) und Vakuum-Plasma-spritzen (VPS) sowie das Flamm- und Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF) zur Verfügung. Die Hybridtechnologie des laserunterstützten atmosphärischen Plasmaspritzens (LAAPS) ergänzt das Verfahrensspektrum.

In Kooperation mit weiteren Instituten des Fraunhofer-Institutszentrums in Dresden umfaßt das Angebotsspektrum:

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



Plasmaspritzen einer Welle



Dr. Anja Techel

Gruppenleiterin Auftragschweißen
(Tel. 2583 255,
anja.techel@iws.fraunhofer.de)

Reparieren und Generieren

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

- schnelle und flexible Bauteil-Digitalisierung und Datenbearbeitung,
- präzise Reparatur und Beschichtung von Bauteilen und Werkzeugen,
- Fertigung von metallischen und hartstoffhaltigen Mustern und Prototypen direkt aus den CAD-Daten des Auftraggebers,
- systemtechnische Komponenten und Unterstützung bei der Fertigungseinführung.



Reparatur von Gasturbinenschaufeln durch Auftragschweißen mit Hochleistungs-Diodenlaser



Oxidation von Hartmetallschichten

Aufgabenstellung

Die Oxidation bestimmt die Einsatzgrenzen von Hartmetallschichten bei der Einwirkung von hohen Temperaturen unter atmosphärischen Bedingungen. Aus diesem Grund wurden verschiedene mittels Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) hergestellte Hartmetallschichten (WC-12Co, WC-17Co, WC-10Co-4Cr, WC-20(W,Cr)₂C-7Ni, Cr₃C₂-25NiCr, (Ti,Mo)(C,N)-29Ni, (Ti,Mo)(C,N)-29Co) hinsichtlich ihres Oxidationsverhaltens bei hohen Temperaturen untersucht. Weiterhin kommt es bereits während des Spritzprozesses zur Oxidation bzw. Entkohlung und somit zu unterschiedlichen Ausgangszuständen. Folglich sind die Auswirkungen der verschiedenen HVOF-Anlagensysteme zu betrachten gewesen.

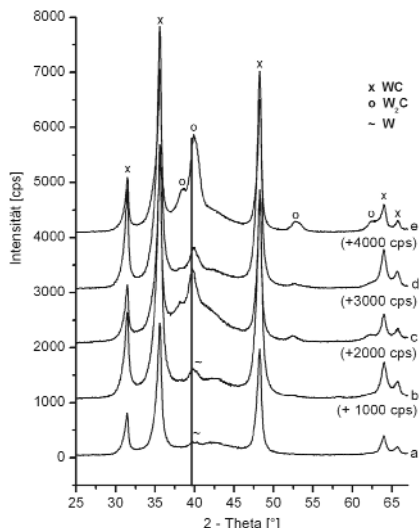


Abb. 1: Röntgendiffraktogramme der gespritzten WC-Co- und WC-CoCr-Schichten: (a) WC-17Co (DJH), (b) WC-12Co DJH, (c) WC-12Co (TG), (d) WC-10Co4Cr (DJH), (e) WC-10Co4Cr (TG)

Lösungsweg

Durch den Einsatz von zwei verschiedenen HVOF-Anlagensystemen [Top Gun (TG), Diamond Jet Hybrid (DJH)] wurden zwei verschiedene Schichten jeder Zusammensetzung hergestellt (Abb. 1). Nach dem Spritzen wurden die Hartmetallschichten in einem Temperaturbereich von 350 - 900 °C bei verschiedenen Zeiten oxidiert.

Ergebnisse

Der Einfluss der verschiedenen HVOF-Spritzsysteme auf das Oxidationsverhalten der Hartmetallzusammensetzungen ist gering. Die TG-Spritzschichten zeichnen sich durch eine im Vergleich zum DJH-Verfahren stärkere Oxidation bzw. Entkohlung aus. Die beste Oxidationsbeständigkeit besitzen die Cr₃C₂-NiCr- und WC-(W,Cr)₂C-Ni-Schichten. Nach der Oxidation bei 900 °C und 2 h beträgt die Oxidschichtdicke dieser Hartmetallschichten weniger als 10 µm. Mit einer Oxidschichtdicke von lediglich 4 µm bei 700 °C bzw. 8 µm bei 800 °C unterscheiden sich die (Ti,Mo)(C,N)-Ni-Hartmetallschichten in der Oxidationsbeständigkeit nur geringfügig von den Cr₃C₂-NiCr- und WC-(W,Cr)₂C-Ni-Schichten. Für die (Ti,Mo)(C,N)-Oxidschichten ist ein dreilagiger Aufbau (Abb. 2) charakteristisch. Die äußere Lage der (Ti,Mo)(C,N)-Oxidschichten besteht aus dem Bindermetalloxid (Co₃O₄ bzw. NiO), die mittlere Lage setzt sich aus CoMoO₄ bzw. NiMoO₄ und die innere Lage überwiegend aus TiO₂ zusammen. Die Oxidschichtdicke der WC-Co- bzw. WC-Co-Cr-Spritzschichten steigt bei Temperaturen über 600 °C stark an (Abb. 3).

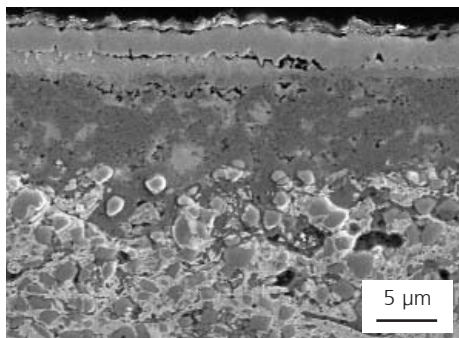


Abb. 2: REM-Aufnahme einer oxidierten (Ti,Mo)(C,N)-Co-Schicht (800 °C und 90 min)

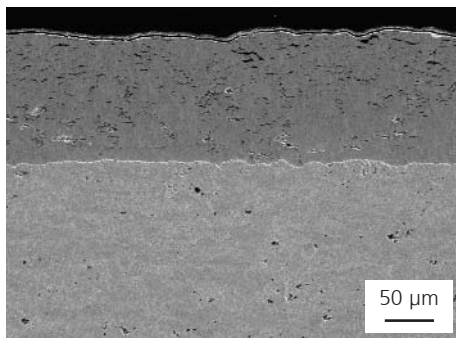
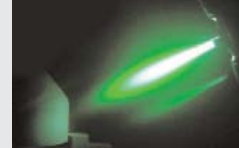


Abb. 3: REM-Aufnahme der bei 700 °C und 2 h oxidierten WC-17Co DJH-Spritzschicht

Ansprechpartner

Dr. Lutz-Michael Berger
Tel.: 0351 / 2583 330
lutz-michael.berger@iws.fraunhofer.de



Off-line-Programmiersystem zum Laserstrahl-Auftragschweißen

Aufgabenstellung

Das Laserstrahl-Auftragschweißen bewährt sich seit langem zum Beschichten und Reparieren oder auch für schnelle Designänderungen in der industriellen Praxis. In wachsendem Maße kommen preiswerte Roboteranlagen für vielfältige Aufgaben des räumlichen Auftragschweißens zum Einsatz. Die heute übliche Teach-In-Programmierung, wie sie zum Beispiel beim Instandsetzen komplexer Werkzeugkonturen angewendet wird, ist jedoch aufwändig und zeitraubend. Die Aufgabe bestand deshalb darin, das bewährte off-line-Programmiersystem DCAM5 für die komfortable Programmierung von Roboteranlagen zu qualifizieren.

Lösungsweg

Das CAM-System DCAM5 wird seit Jahren zur Programmierung von 3- und 5-Achs-Portalanlagen zum Laserstrahl-Auftragschweißen eingesetzt. Das Programm ermöglicht das Generieren von Einzelspuren, Schriftzügen, Flächen und beliebigen Volumenelementen auf ebenen, aber auch auf gekrümmten Flächen.

Ausgehend von den importierten oder im CAM-System erstellten 3D-CAD-Daten des Bauteils werden die zu beschichtenden Flächen am Bauteil zuerst separiert und dann die zu erzeugenden Bahnen berechnet. In der Software sind unterschiedliche Beschichtungsstrategien hinterlegt. Entsprechende Parametereinstellungen wie z. B. Vorschub, Laserleistung, Spurbreite, Überlappung, Startpunktversatz, Ein- und Überläufe sind frei wählbar. Anschließend erfolgt die Prüfung der Bahn zur Vermeidung von Kollisionen zwischen Werkstück und Anlagenteilen. Dies ist insbesondere deshalb erforderlich, weil der Arbeits-

abstand beim Laserauftragschweißen gewöhnlich weniger als 15 mm beträgt. Werden Kollisionen erkannt, ist die Änderung der Werkzeugausrichtung oder des Anstellwinkels über die gesamte Bahn oder nur bereichsweise möglich. Auch alle technologischen Parameter sind nachträglich bearbeitbar.

Bis zu diesem Arbeitsschritt muss das Bauteil nicht physisch vorliegen. Wird das zu beschichtende Bauteil dann bereitgestellt, erfolgt lediglich ein Positionsabgleich zwischen der Bauteillage in der Simulation und der realen Bauteillage in der Aufspannung. Dafür werden zumeist drei markante Punkte am Bauteil ertastet und in das CAM-System übertragen. Anschließend erfolgt die Bauteiltransformation. Wird mit einer abschließenden Simulation der geplanten Bahnbewegungen bestätigt, dass im Beschichtungsprozess volle Zugänglichkeit vorliegt, können die entsprechenden Programme ausgegeben und der Beschichtungsprozess gestartet werden.

Ergebnisse

Mit dem off-line-Programmiersystem DCAM5 kann die Vorbereitung von Auftragschweißprozessen erheblich verkürzt und die Anlagentechnik optimal ausgenutzt werden. Neben der Programmierung von 3- und 5-Achs-CNC-Anlagen ist das System heute auch für die Programmierung von Roboteranlagen mit simultanem Dreh- und Schwenktisch sowie simultaner Linearachse geeignet.

Über das Laser-Auftragschweißen hinaus kann das System zur off-line-Programmierung verschiedener bahngesteuerter Prozesse eingesetzt werden. So ist eine Nutzung des Systems beispielsweise auch beim Laserstrahlhärten, -schweißen und -schneiden, aber auch beim Dosieren von Lot oder Klebstoff denkbar.

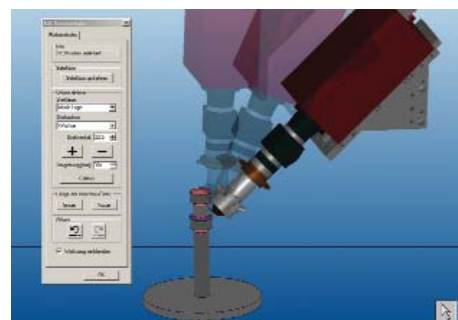


Abb. 1: Bahnberechnung und Simulation der Bahnbewegung in DCAM5

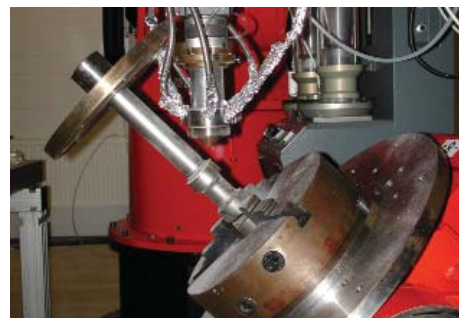


Abb. 2: Bauteilbeschichtung am Roboter

Ansprechpartner

Andreas Schmidt
Tel.: 0351 / 2583 490
andreas.schmidt@iws.fraunhofer.de



COAXn: Modulare Systemtechnik zum Laserstrahl-Präzisionsauftragschweißen

Motivation

Die präzise Herstellung von Oberflächenschutz- und Funktionsschichten sowie schnelle Reparaturen von Hochwertbauteilen zählen zu den wichtigsten Anwendungsgebieten, in denen sich das Laserstrahl-Auftragschweißen heute industriell etabliert hat. Eine wichtige Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz des Verfahrens sind robuste Pulverdüsen, die einfach zu handhaben sind und eine exakte sowie stabile Zufuhr des Schweißpulvers auch an weniger gut zugänglichen Bearbeitungsstellen sowie beim Beschichten von Freiformflächen ermöglichen. Mit dem modularen Pulverdüsen-system COAXn des Fraunhofer-Institutes für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden steht dem Anwender ein flexibles Werkzeug zur Verfügung, das zusammen mit der entsprechenden Lasertechnik leicht in Standard-Werkzeugmaschinen und Bearbeitungssysteme integriert werden kann.

Modulares Konzept

Die Laser-Beschichtungseinheiten werden heute in unterschiedlichen Varianten für das Oberflächenbeschichten, Reparieren und Generieren im Werkzeug- und Formenbau, der Triebwerk-instandsetzung sowie im Motorenbau eingesetzt (Abb. 1). Eine solche Einheit besteht grundsätzlich aus der kommerziell erhältlichen Laseroptik, die mit Sensorik zur Prozessüberwachung ausgestattet sein kann, einem xyz-Adapter zum Anschluß der Düse sowie der eigentlichen Koaxial-Pulverdüse mit Anschlüssen für alle Prozessgase und Kühlwasser. Entsprechend der konkreten Anwendung kann aus einem Baukastensystem die jeweils optimale Düsenkonfiguration zusammengestellt werden.

Funktionsmerkmale

Je nach Anwendungsfall werden handelsübliche Metall- oder Hartstoffpulver sowie Pulvergemische verarbeitet. Für große Pulvernutzungsgrade auch bei filigranen Beschichtungen kann der Pulverstrahl bis auf einen minimalen Durchmesser von etwa 1 mm fokussiert werden. Die Abschmelzleistung beträgt 0,25 bis 3 kg h⁻¹ Metallpulver.

Systemintegration

Bei der Konstruktion des Pulverdüsen-systems wurde besonderes Augenmerk auf die leichte Integrierbarkeit in Werkzeugmaschinen und Roboter gelegt, die heute oftmals bei den Anwendern bereits vorhanden sind. Einschließlich des Lasers kann somit das komplette Beschichtungssystem als preiswerter Nachrüstatz erworben und in die bestehende Anlagentechnik eingebaut werden.

Anwendungsbeispiele

Die mit den COAXn-Köpfen hergestellten Strukturen reichen von filigranen Einzelraupen mit Breiten und Höhen von wenigen zehntel Millimetern über größerflächige Beschichtungen mit Schichtdicken von maximal 2,5 mm bis hin zu 3D-Geometrieaufbauten. Beispiele für hochpräzise Anwendungen sind Laseranlagen zur Reparatur von komplex geformten Triebwerkkomponenten wie Schaufeln, Scheiben und Blisks. Andererseits werden heute auch große Umformwerkzeuge aus dem Automobilbereich durch lokale Laser-Auftragschweißungen repariert und schnell im Design geändert. Beispiele aus dem Bereich des Oberflächenschutzes sind Hartmetallpanzerungen für Ölbohrwerkzeuge (Abb. 3) oder für Prägewalzen zur Papierherstellung.



Abb. 1: Modularer Beschichtungskopf, bestehend aus Laseroptik, Justiereinheit und Koaxial-Pulverdüse



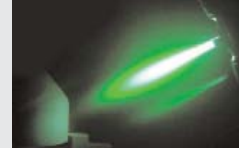
Abb. 2: Universelles Robotersystem zum Laserstrahl-Auftragschweißen



Abb. 3: Koaxial-Pulverdüse zum Panzern von Ölbohrwerkzeugen

Ansprechpartner

Dr. Steffen Nowotny
Tel.: 0351 / 2583 241
steffen.nowotny@iws.fraunhofer.de



Werkzeugbau mit der MELATO®-Prozesskette für Anwendungen im Automobilbereich

Aufgabenstellung

Die Fertigung von Prototypwerkzeugen zum Tiefziehen großer Blechplatten kann durch die Nutzung generierender Verfahren beschleunigt und kostengünstiger werden. Die MELATO®-Prozesskette, eine neue Methode zur schnellen Fertigung von Werkzeugen durch Blechpaketieren, war am Beispiel eines Doppelstempels zur Herstellung der C-Säulen-Verstärkung im PKW zu erproben. Das so erzeugte Prototypwerkzeug sollte ohne mechanische Nachbearbeitung im Einsatz getestet werden.

Lösungsweg

In den letzten Jahren wurde am IWS eine Automatisierungslösung für das Schneiden, Paketieren und Verbinden von Blechen geschaffen. Damit die Arbeitsvorbereitung für alle Teilprozesse der Prozesskette am PC erfolgen kann, wurde mit industriellen Partnern das Software-System DCAMnc und das Zusatzmodul MELATO® entscheidend weiterentwickelt.

Im Unterschied zu anderen generierenden Fertigungsverfahren handelt es sich bei MELATO® um eine offene Prozesskette, die bauteil- und beanspruchungsgerecht modifiziert werden kann. Die Diskussion möglicher Fertigungsvarianten steht deshalb generell am Beginn der Arbeiten. Durch die Ausrichtung der Blechzuschnitte im Werkzeug, die Schichtdicke und die Methode zum Verbinden der Blechzuschnitte werden die Eigenschaften des Werkzeuges in weiten Grenzen beeinflusst.

Aus einer Reihe möglicher Varianten wurde für das Beispiel Doppelstempel das Laserschneiden von 1 mm dickem Stahlblech DC01 und Verbinden durch Zuganker und Schrauben ausgewählt.

Die beiden Stempelköpfe wurden durch Blechpaketieren gefertigt, der Unterbau wurde als Schweißkonstruktion ausgeführt. Dementsprechend erfolgte die Modifizierung der 3D-CAD-Daten.

Ergebnisse

Die Zeit für die gesamte CAM-Programmierung, beginnend beim Einlesen der modifizierten 3D-CAD-Daten über das Zerlegen in Schichten und Anordnen der Schichten auf Blechtafeln bis zur Erstellung der NC-Programme für das Laserstrahl-Schneiden und Paketieren betrug nur wenige Minuten. Der Unterbau wurde nach Abschluss der Planungsphase als Schweißkonstruktion bei einem externen Dienstleister ausgeführt. Das Schneiden, Paketieren und manuelle Montieren der Stahlblechzuschnitte erfolgte am Fraunhofer IWS. Insgesamt betrug die Fertigungszeit des gesamten Doppelstempels etwa 400 h. Durch Parallelisierung der Arbeitsgänge ist eine Durchlaufzeit von 9 Arbeitstagen möglich.

Die Erprobung des Werkzeuges erfolgte bei ThyssenKrupp Drauz Nothelfer in Ravensburg auf einer 800 t-Pressen. Es wurden 0,6 mm dicke Platinen mit einer Stößelkraft von 640 t und einer Ziehkissenkraft von 150 t tiefgezogen. Nach dem Einbau des Doppelstempels in die Presse wurde der Kopfbereich manuell nachbearbeitet und die Stufe eingeebnet. In Verbindung mit der manuellen Anpassung des Platinenzuschnittes konnten so bereits nach 4 Stunden rissfreie Blechteile abgeformt werden.



Abb. 1: MELATO®-Doppelstempel nach dem Paketieren



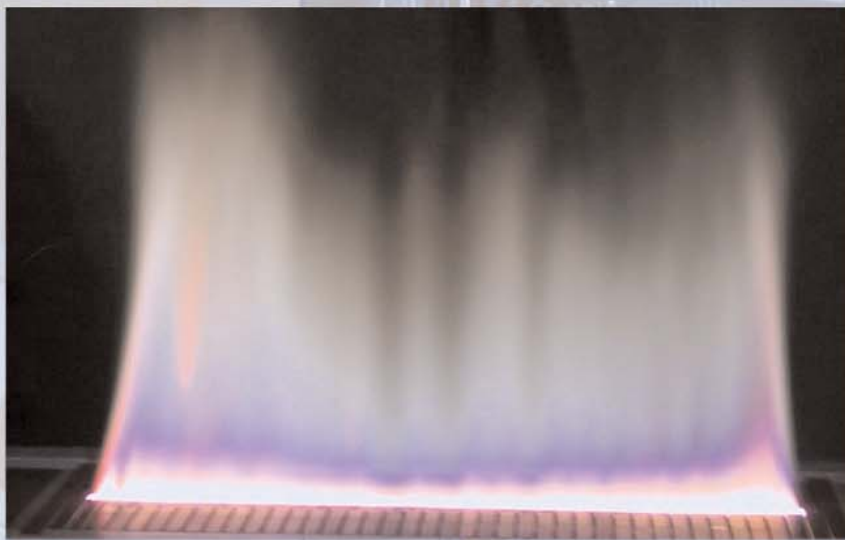
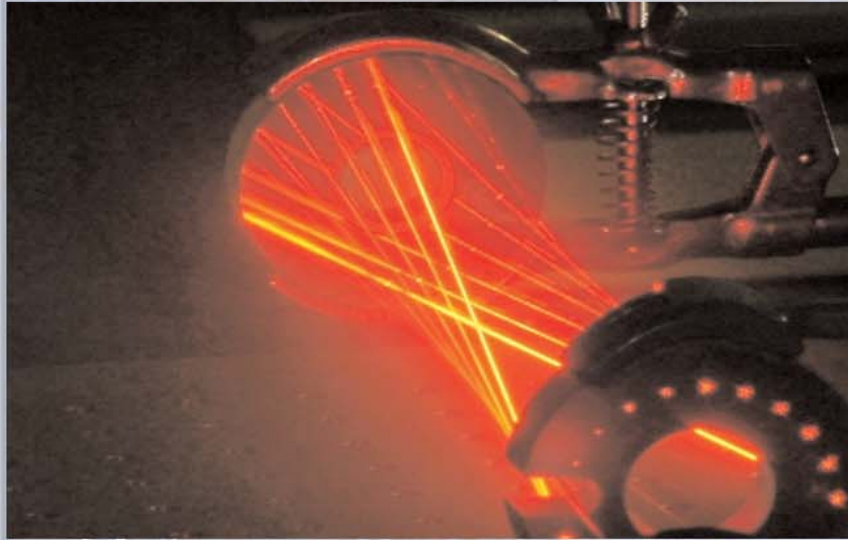
Abb. 2: MELATO®-Doppelstempel nach dem partiellen Verschleifen der Stufen



Abb. 3: Abgeformtes Bauteil

Ansprechpartner

Dr. Anja Techel
Tel.: 0351 / 2583 255
anja.techel@iws.fraunhofer.de



Forschungs- und Entwicklungsangebot: CVD-Dünnschichttechnologie

Redaktion: Im Zuge des IWS-Erweiterungsbaus erhielt auch die Abteilung »CVD-Dünnschichttechnologie« neue großzügige Büroräume, trotzdem waren Ihre Mitarbeiter selten dort anzutreffen, wieso?

Dr. Hopfe: Da sie an den Beschichtungsanlagen arbeiteten, im Spektroskopielabor, am Elektronenmikroskop oder gerade optische Sensorik beim Kunden in Betrieb nahmen..., um nur einige typische Arbeiten zu nennen. Komplexität und Breite der Arbeiten haben im zurückliegenden Jahr deutlich zugenommen. Schwerpunkte bildeten das Einfahren von im IWS konstruierten und aufgebauten Prototyp-Anlagen für plasmagestützte CVD-Prozesse, die Entwicklung von Schichtsystemen für neue Applikationen und die Implementierung hochempfindlicher Sensoren zur Steuerung von Industrieanlagen. Nach interner Konsolidierungsphase steht nunmehr in beiden Arbeitsgruppen die effiziente kundenorientierte Arbeitsweise im Mittelpunkt. Bei weiterem dynamischen Wachstum konnte insbesondere das Volumen der Industrie-Direktaufträge anteilig gesteigert werden. Erfreulicherweise ergaben sich im zurückliegenden Jahr zunehmend interessante Kooperationsmöglichkeiten mit ortsansässigen Unternehmen. Das sorgt nicht nur für »kurze Wege«, sondern gestattet unseren spezifischen Auftrag für die Entwicklung der territorialen Industrie besser wahrzunehmen.

Redaktion: Im vergangenen Jahr wurde der vom IWS in Kooperation mit einem mittelständigen Dresdner Unternehmen entwickelter ISPRON® Multi-gassensor zum Langzeittest an eine namhafte ortsansässige Mikroelektronik-Fab transferiert. Wie ist der Test ausgefallen?

Dr. Hopfe: Der Feldtest läuft noch, und das nunmehr seit einem Jahr. Mit ISPRON® wird in einem in der 300 mm-Waferlinie integrierten CVD-Cluster-tool die Gasatmosphäre kontinuierlich

in-situ überwacht. Die für die Waferproduktion verantwortlichen Mitarbeiter berichteten über Korrelationen zwischen Waferqualität und Anlagenzustand, die mit Hilfe des innovativen Sensorkonzepts gewonnen werden konnten. Damit wird die wesentliche Zielstellung erreicht und es bieten sich vielfältige Applikationsmöglichkeiten. Im Vorfeld des Feldtests stand zunächst die spannende Frage hinsichtlich Langzeitstabilität und Störungsfreiheit des Sensors in der Industrieanlage. Sie können sich sicher vorstellen, dass das Angebot, einen bisher nur unter Laborbedingungen erprobten Sensor sofort in die Produktionslinie mit der weltweit höchsten Wertschöpfung einzusetzen nicht nur Chancen eröffnete, sondern auch erhebliche Risiken in sich barg. Es stimmt uns deshalb sehr zusehendermaßen, dass der Sensor praktisch wartungsfrei funktioniert und auch im harten Dauereinsatz keinerlei Degradationserscheinungen aufweist.

Redaktion: In Ihrer Abteilung werden schwerpunktmäßig Atmosphärendruck-Plasma-Beschichtungsprozesse entwickelt. Sind die im vergangenen Jahr durchgeführten Entwicklungen zum plasmachemischen Ätzen als Ergänzung oder als potenziell neues Geschäftsfeld zu verstehen?

Dr. Hopfe: Letztlich als beides. Plasmachemischer Abtrag (das sog. Trockenätzen) ist verfahrenstechnisch ähnlich dem PECVD. Damit kann es mit geringfügigen Änderungen in den von uns entwickelten Plasmaanlagen realisiert werden. Die potenziellen Anwendungsgebiete sind sehr vielfältig und reichen von der Feinreinigung vor Beschichtungsprozessen bis hin zum flächigen Materialabtrag. Schwerpunktmäßig entwickeln wir derzeit Verfahren zur Fertigung photovoltaischer Leistungszellen. Durch optimale Oberflächentexturierung wird die Einkopplung der Sonnenenergie maximiert und damit der Wirkungsgrad erhöht.



My interest is in the future because I am going to spend the rest of my life there.

Mein Interesse ist auf die Zukunft gerichtet, denn dort werde ich den Rest meines Lebens verbringen.

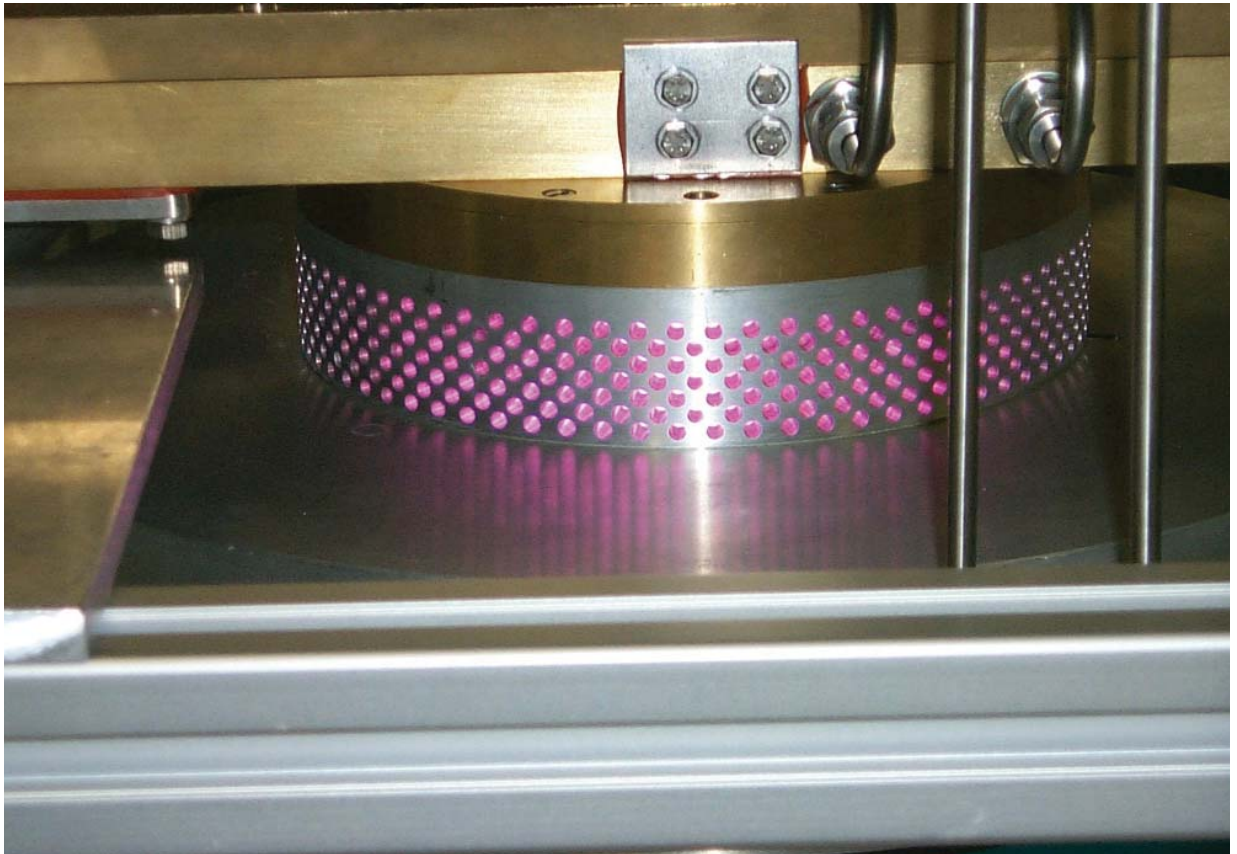
Charles F. Kettering



Dr. Volkmar Hopfe
Abteilungsleiter
(Tel. 2583 402,
volkmar.hopfe@iws.fraunhofer.de)

Beispiele aus den Arbeiten 2005

1. Trockenätzen von Solarwafern mit Atmosphärendruck-Plasmen - Oberflächentextur und Gasphasenchemie 58
2. ISPROM® - Ein Multigassensor zur in-situ-Überwachung und Regelung von industriellen Gasphasenprozessen 59
3. Photokatalytische Aktivität TiO₂-beschichteter Stahloberflächen 60
4. Abscheidung von SiO₂-Schichten mittels PECVD bei Atmosphärendruck 61



**Dr. Ines Dani**

Gruppenleiterin Atmosphärendruck-CVD
(Tel. 2583 405,
ines.dani@iws.fraunhofer.de)

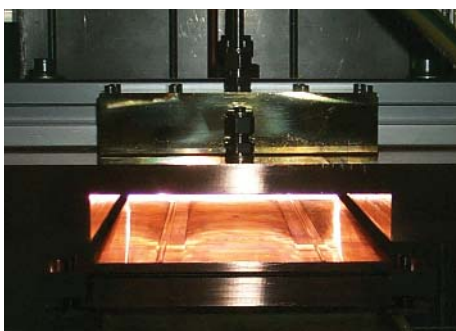
**Dr. Wulf Grählert**

Gruppenleiter Prozess-Monitoring
(Tel. 2583 406,
wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de)

Plasmagestützte CVD-Verfahren bei Atmosphärendruck

Atmosphärendruck-Plasma-CVD-Prozesse (AP-PECVD) erlauben die großflächige Abscheidung qualitativ hochwertiger Funktionsschichten ohne Einsatz kostenintensiver Vakuumanlagen. Damit sind kontinuierliche Beschichtungsprozesse mit hohen Raten auf temperaturempfindlichen Materialien (wie Sonderstählen, Leichtmetallen, Gläsern und Kunststoffen) sowie leicht gekrümmten Substraten unterschiedlicher Dicke realisierbar.

Am IWS werden Prototypen von AP-PECVD-Durchlaufreaktoren mit Gas-schleusen zur Herstellung von oxidischen und nichtoxidischen Schichten bei Normaldruck entwickelt. Die Optimierung des Reaktordesigns basiert auf experimentellen Ergebnissen und thermofluidynamischen Simulationen. Das modulare Reaktordesign sorgt für eine kostengünstige Adaption des Prozesses an neue Anwendungsgebiete und Schichtmaterialien.



Blick in den Beschichtungsraum der ArcJet-PECVD-Anlage

Prozess-Monitoring

Die optimale Funktion von Industrieanlagen und die Qualität der gefertigten Produkte steht oftmals im direkten Zusammenhang mit der sich in der Anlage befindenden Gasatmosphäre, deren Zusammensetzung exakt überwacht werden muss. Eine industrietaugliche kontinuierliche in-situ-Gasanalytik ist beispielsweise essentiell bei der Qualitätssicherung von chemischen Beschichtungs-, Ätz- oder Sinterprozessen sowie bei der Überwachung von Emissionen aus Industrieanlagen. Für kundenspezifische Lösungen zur kontinuierlichen Überwachung der chemischen Zusammensetzung und Konzentration von Gasgemischen nutzt das IWS Sensoren, die wahlweise auf der NIR-Diodenlaser- oder FTIR-Spektroskopie beruhen.

Weiterhin werden Bauteiloberflächen und Schichtsysteme mit spektroskopischen Methoden wie FTIR-Spektroskopie, Spektro-Ellipsometrie oder Raman-Mikroskopie charakterisiert.



FTIR-Monitoring von Hochtemperaturprozessen

Trockenätzen von Solarwafern mit Atmosphärendruck-Plasmen - Oberflächentextur und Gasphasenchemie

Aufgabenstellung

Für die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik spielen die Kosten der Solarzellen eine entscheidende Rolle. Möglichkeiten zur Kostensenkung bestehen in der Verwendung preiswerterer Materialien sowie in der Einführung kostengünstiger in-line-Herstellungsverfahren. Als erster Teilschritt einer zukünftigen in-line-Solarzellenfertigung soll die Realisierbarkeit eines Durchlauf-Plasmaätzprozesses bei Atmosphärendruck evaluiert werden. Dieser Prozess führt neben einer Senkung der Investitionskosten auch zur Senkung der Wafer-Handhabungskosten und der Waferbruchrate. Forschungsbedarf gibt es hinsichtlich Machbarkeit und Prozesseigenschaften plasmachemischer Ätzprozesse bei Atmosphärendruck und des Einflusses der Ätzbedingungen auf die Oberflächentextur. Eine günstige Texturierung verbessert die Lichteinkopplung und damit die Effizienz der Solarzelle.

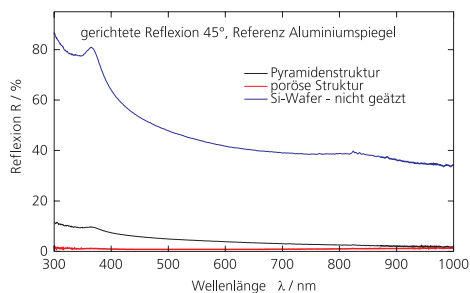


Abb. 1: Reflexionsspektren der erzeugten Oberflächenstrukturen in Vergleich zu der einer unbehandelten Oberfläche

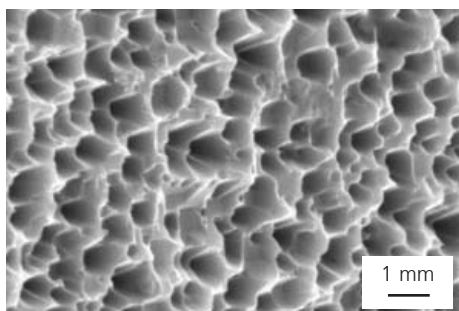


Abb. 2: Plasmachemisch geätzte Silizium-Oberfläche - poröse Struktur

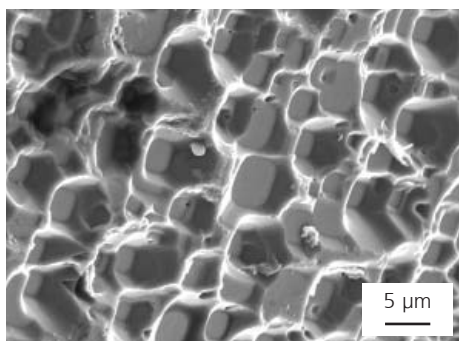


Abb. 3: Plasmachemisch geätzte Silizium-Oberfläche - Pyramidentextur

Lösungsweg

Als Atmosphärendruck-Plasmaquelle wurde eine linienförmige DC-Bogenentladung mit einer Arbeitsbreite von 150 mm eingesetzt. Das Plasmagas durchströmt den Bogen senkrecht zu seiner Achse und transportiert angeregte Plasmaspezies aus der Quelle heraus in Richtung Substrat. Als Ätzgase werden aus der Mikroelektronik bekannte fluorhaltige Gase, beispielsweise Schwefelhexafluorid SF_6 sowie Stickstofftrifluorid NF_3 verwendet. Diese Reaktivgase werden in das Afterglow-Plasma eingeleitet, um die Langzeitstabilität der Plasmaquelle zu gewährleisten. Das Substrat, ein monokristalliner Czochalski-Solarwafer, wird mit Geschwindigkeiten von bis zu 100 mm s^{-1} durch den Reaktor

bewegt. Zum Wafertransport ist der Durchlauf-Laborreaktor beidseitig offen. Ein durch fluiddynamische Simulationen optimiertes Gas-Schleusensystem kontrolliert die Gasatmosphäre in der Ätzzone und verhindert, dass gasförmige Reaktionsprodukte aus dem Reaktor in die Umgebung gelangen. Ein Abgasentsorgungssystem reinigt die abgesaugten Gase. Die plasmachemischen Reaktionen in der Ätzzone wurden mittels in-situ FTIR-Gasphasenspektroskopie kontinuierlich verfolgt.

Ergebnisse

Mit dem beschriebenen Atmosphärendruck-Plasmaverfahren konnten unter Verwendung von polierten Si-Wafern Ätzraten von $7 \mu\text{m min}^{-1}$ für SF_6 und $12 \mu\text{m min}^{-1}$ für NF_3 erreicht werden. Das entspricht bei 100 mm s^{-1} Durchlaufgeschwindigkeit einer Ätztiefe von $0,7 \mu\text{m}$ für SF_6 bzw. $1,4 \mu\text{m}$ für NF_3 . Die geätzten Oberflächen zeigen in Abhängigkeit von den verwendeten Prozessparametern unterschiedliche Texturierungen. Bei geringen Ätzraten wurden poröse, nanotexturierte Oberflächen erzeugt, während bei hohen Ätzraten mikrotexturierte Oberflächen, bestehend aus inversen Pyramiden, beobachtet wurde. Die Oberflächenstrukturierung führt zu einer starken Verminderung der an der Waferoberfläche reflektierten Strahlung. FTIR-spektroskopisch konnte sowohl die Fragmentierung des Ätzprecursors als auch die Bildung des gasförmigen Ätzprodukts (SiF_4) verfolgt werden, deren Konzentrationsverhältnisse stark von den Prozessparametern beeinflusst werden.

Ansprechpartner

Dr. Ines Dani
Tel.: 0351 / 2583 405
ines.dani@iws.fraunhofer.de



ISPROM® - Ein Multigasensor zur in-situ-Überwachung und Regelung von industriellen Gasphasenprozessen

Aufgabenstellung

Eine Vielzahl von Fertigungsschritten der Halbleiterindustrie beruht auf komplexen Gasphasenprozessen, wie z.B. der Schichtabscheidung mittels Chemical Vapour Deposition (CVD) oder dem plasmachemischen Ätzen. Die Qualität und Kosten der bearbeiteten Wafer hängen im hohen Maße vom Erkennen sowie vom permanenten Einhalten der optimalen Prozessbedingungen ab. Die Prozess-Performance wird von der Zusammensetzung (qualitativ und quantitativ) der Prozessgasatmosphäre direkt bestimmt. Ziel der Arbeiten am Fraunhofer IWS ist die Entwicklung industrietauglicher Sensoren zur kontinuierlichen Überwachung von Gasatmosphären, zur Qualitätssicherung und Prozessoptimierung.

Lösungsweg

Dafür wurde in Zusammenarbeit mit der Firma SEMPA-Systems ein in-situ-Multigasensor auf Basis der Infrarot-Fourier-Transformationspektroskopie (FTIR) entwickelt - ISPROM®.

Der Entwicklung des industrietauglichen Sensors lagen langjährige Erfahrungen zur FTIR-basierten Prozesscharakterisierung und -monitorierung zugrunde. Gepaart mit umfangreichen fluidodynamischen Simulationen zur Ermittlung der Strömungsparameter wurde ein optimal kundenangepasstes Sensordesign realisiert.

Ergebnisse

Der ISPROM®-Multigasensor, der als modular aufgebautes, flexibles und in eine IT-Infrastruktur integrierbares FTIR-System konstruiert wurde, ermöglicht die kontinuierliche in-situ-Überwachung fast aller prozessrelevanten Gase direkt in oder in unmittelbarer Nähe zur Prozesskammer. Je nach Prozessphase werden simultan die Precursoren, Dotanten, Ätzelemente und - besonders wichtig für die Prozesskontrolle - deren Zwischen- und Umsatzprodukte kontinuierlich erfasst. Das Monitoring erfordert dabei kein aufwändiges Extrahieren und Aufbereiten des zu untersuchenden Gasgemisches - die Messung erfolgt genau dort, wo diese Gase vorhanden sind. Selbst in stark partikelbelasteten Gasatmosphären arbeitet der Sensor zuverlässig wartungsfrei.

Die aufgezeichneten zeitlichen Verläufe der Gaskonzentrationen werden über Standardschnittstellen an das übergeordnete Prozessleitsystem übergeben, in dem Korrelationen zum Prozesszustand und zur erwarteten Produktqualität abgeleitet werden.

Der entwickelte in-situ Multigasensor wurde an einem CVD-Produktionstool für 300 mm-Wafer (TEOS / O₃-Prozess) im Dauereinsatz evaluiert. Das flexibel aufgebaute Sensorsystem eröffnet eine Vielzahl von Industrieprozessen - nicht nur in der Halbleiterindustrie - die Möglichkeit einer on-line Prozessüberwachung und Prozessregelung.

ISPROM
in-situ
process
monitoring

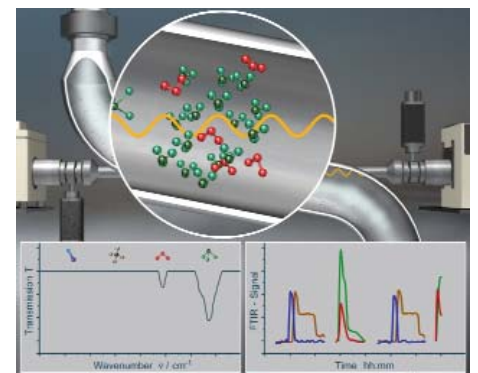


Abb. 1: Funktionsprinzip des in-situ-Multigasensors ISPROM® zur kontinuierlichen Überwachung prozessrelevanter Gasgemischungen

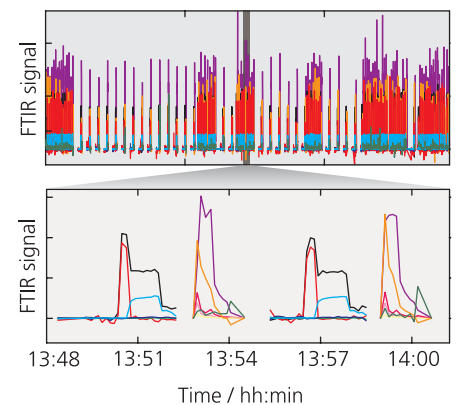


Abb. 2: Typische Gaskonzentrationsverläufe in einem CVD-Tool zum Prozessieren von 300 mm-Wafern

Ansprechpartner

Dr. Wulf Grählert
Tel.: 0351 / 2583 406
wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de

Photokatalytische Aktivität TiO₂-beschichteter Stahloberflächen

Aufgabenstellung

Photokatalytische Beschichtungen werden zunehmend eingesetzt, um Gebäudeverglasungen oder Fassadenelemente selbsttätig zu reinigen. Unter Sonneneinstrahlung werden organische Ablagerungen oxidativ entfernt und gleichzeitig eine hydrophile Oberfläche gebildet, auf der sich Regenwasser gleichmäßig verteilt und dabei anhaftende Schmutzpartikel entfernt.

Im IWS werden Atmosphärendruck-Plasma-CVD-Verfahren zur kostengünstigen Herstellung photokatalytischer TiO₂-Beschichtungen auf Stahl und anderen Materialien entwickelt. Für diese Materialien existieren aber bisher keine standardisierten Testverfahren zur Bewertung der photokatalytischen Aktivität. Die Aufgabe bestand daher in der Entwicklung eines solchen Verfahrens.

Lösungsweg

Die photokatalytische Aktivität wird über die Abbaurrate einer Modellsubstanz (Stearinsäure) FTIR-spektroskopisch quantifiziert. Wegen der Nichttransparenz metallischer Substrate sind dafür Messungen in gerichteter Reflexion erforderlich, für die das am Fraunhofer IWS speziell für den Einsatz an großen Bauteilen entwickelte mobile FTIR-Reflektometer IRspecXL® zum Einsatz gelangte (Abb. 1). Zur Bestimmung der photokatalytischen Aktivität der TiO₂-beschichteten Stahlsubstrate wurden diese mit einem mehrere nm dicken Stearinsäure-Film überzogen und mit UV-Licht (254 nm) bestrahlt. Der photokatalytische Abbau der organischen Schicht wird zeitaufgelöst quantifiziert.

Ergebnisse

In Abb. 2 sind die typischen Valenzschwingungsbanden der Stearinsäure im Bereich zwischen 2700 cm⁻¹ und 3000 cm⁻¹ gezeigt. Die Abnahme der Intensität mit der Bestrahlungsdauer resultiert aus der photooxidativen Schichtdickenabnahme und ist somit ein Maß für die photokatalytische Aktivität der TiO₂-Schicht.

Im Gegensatz zur »klassischen« Absorptionsspektroskopie an transparenten Substraten, bei der die direkte Proportionalität von Bandenfläche und Stearinsäureschichtdicke genutzt wird, kann bei metallischen Substraten die Schichtdicke nicht direkt aus den Reflexionsspektren bestimmt werden. Erst die Anwendung optischer Simulationsrechnungen unter Zuhilfenahme optischer Modelle ermöglicht eine korrekte Schichtdickenbestimmung. Die dazu notwendigen wellenzahlabhängigen optischen Funktionen $[n(\tilde{\nu}), k(\tilde{\nu})]$ des Schichtmaterials standen zur Verfügung bzw. wurden im Falle der Stearinsäure durch Auswertung von Transmissions- und Reflexionsmessungen auf Silizium ermittelt. Unter Anwendung des optischen Modells (Abb. 3) ist die Stearinsäureschichtdicke bestimmbar.

Die photokatalytische Aktivität TiO₂-beschichteter Substrate kann nunmehr direkt mit Testergebnissen an transparenten Substraten verglichen werden, beispielsweise von TiO₂-beschichteten Gläsern. Für TiO₂-Schichten auf Edelstahl (hergestellt mittels Atmosphärendruck-Mikrowellen-PECVD) wurden Abbauraten von bis zu 32 nm h⁻¹ ermittelt (zum Vergleich: Abbaurrate Pilkington Activ™ bis zu 15 nm h⁻¹ [1], kommerziell TiO₂-beschichtetes Glas).

[1] Mills A., et al.: Characterisation of the photocatalyst Pilkington Activ™: a reference film photocatalyst?, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 160 (2003), 213-224

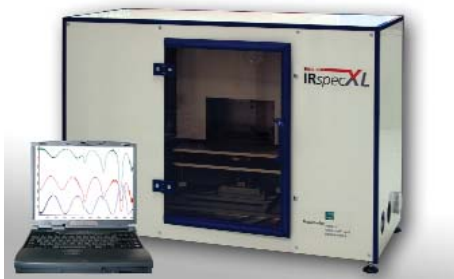


Abb. 1: IRspecXL - FTIR-spektroskopische Charakterisierung der Oberflächen großer Bauteile

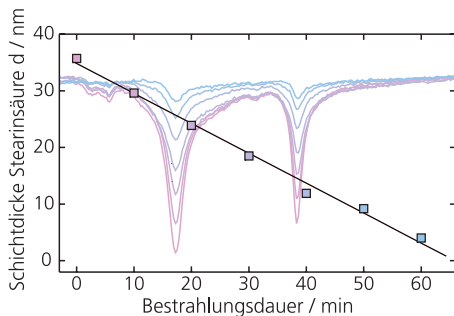


Abb. 2: Photokatalytischer Abbau von Stearinsäure-Schichten bei Bestrahlung mit 254 nm - Abnahme der Intensität der Valenzschwingungsbanden mit der Bestrahlungsdauer (Reflexionsspektren: Einfallswinkel 73°, p-Polarisation)

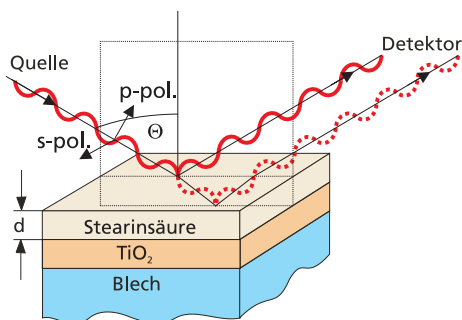


Abb. 3: Optisches Modell zur Auswertung der Reflexionsspektren

Ansprechpartner

Dr. Wulf Grählert
Tel.: 0351 / 2583 406
wulf.graehlert@iws.fraunhofer.de



Abscheidung von SiO₂-Schichten mittels PECVD bei Atmosphärendruck

Aufgabenstellung

Im Fraunhofer IWS werden inline-fähige Technologien zur kontinuierlichen Großflächenbeschichtung von flachen Substraten mittels plasmagestützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD) bei Atmosphärendruck entwickelt. Spezielle Zielstellung der Arbeiten im IWS ist die Abscheidung von SiO₂-Schichten für Kratzschutzanwendungen.

Lösungsweg

Bei plasmaaktivierten Beschichtungsprozessen aus der Gasphase wird die schichtbildende Substanz (Precursor) durch das Plasma in reaktive Spezies umgewandelt. Der aktivierte Precursor wird durch Gasströme zum Substrat getragen und dort als Schichtmaterial abgeschieden.

Für die Precursoraktivierung wird am IWS ein Niedertemperatur-Mikrowellenplasma (2,45 GHz) genutzt, das auch unter Atmosphärendruckbedingungen homogen und stabil brennt. Fluiddynamische Simulationen der Gasdynamik sowie der Temperatur- und Konzentrationsverteilungen bilden die Basis für das Design des kontinuierlich arbeitenden Reaktors sowie der Optimierung des Beschichtungsprozesses. Die Beschichtungszone ist räumlich von der Plasmaquelle getrennt. In die aus der Plasmaquelle schnell herausströmenden angeregten Spezies eines Argon-Stickstoff-Gemisches wird in Substratnähe der Precursor Tetraethoxysilan (TEOS) sowie Sauerstoff zugemischt. Das Substrat wird kontinuierlich über den Reaktorkopf bewegt und dabei gleichmäßig beschichtet.

Ergebnisse

FTIR-Spektren zeigen die typischen Phononenbanden von SiO₂. Die Schichten enthalten Anteile an OH-Gruppen, aber keine organischen Rückstände des Precursors. ERD-Analysen (Elastic Recoil Detection) bestätigen, dass es sich um stöchiometrisches SiO₂ handelt. Der Brechungsindex der Schichten ist über die Prozessparameter einstellbar und liegt im Bereich von 1,42 bis 1,47 ($\lambda = 550 \text{ nm}$). Die Härte der Schichten beträgt unabhängig von der Schichtdicke max. 4,8 GPa mit einem E-Modul von 33 bis 65 GPa. Die Gitterschnittprüfung nach DIN EN ISO 2409 an 1 μm dicken SiO₂-Schichten auf Edelstahl zeigt kein Abplatzen der Schichten an den Schnittständen.

Mit dem Mikrowellen-PECVD-Verfahren ist eine inline-fähige, kontinuierliche Beschichtungstechnologie entwickelt worden. Die Schichteigenschaften können über die Prozessparameter in einem großen Bereich eingestellt werden. Bei Atmosphärendruck mittels PECVD hergestellte SiO₂-Schichten können als Barriere für den Korrosionsschutz, zur Erhöhung der Kratzfestigkeit von Oberflächen oder auch als elektrisch isolierende Schichten eingesetzt werden.

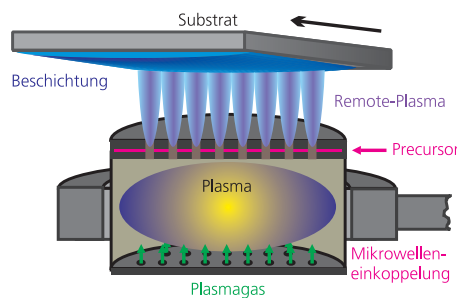


Abb. 1: Schematische Darstellung des Atmosphärendruck-Mikrowellen-PECVD-Verfahrens

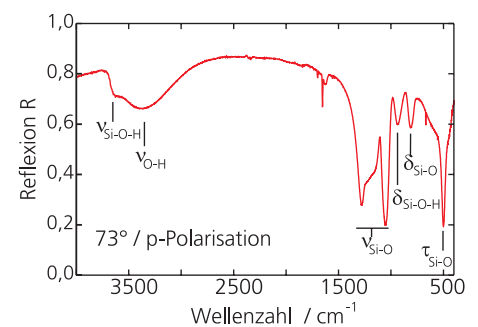


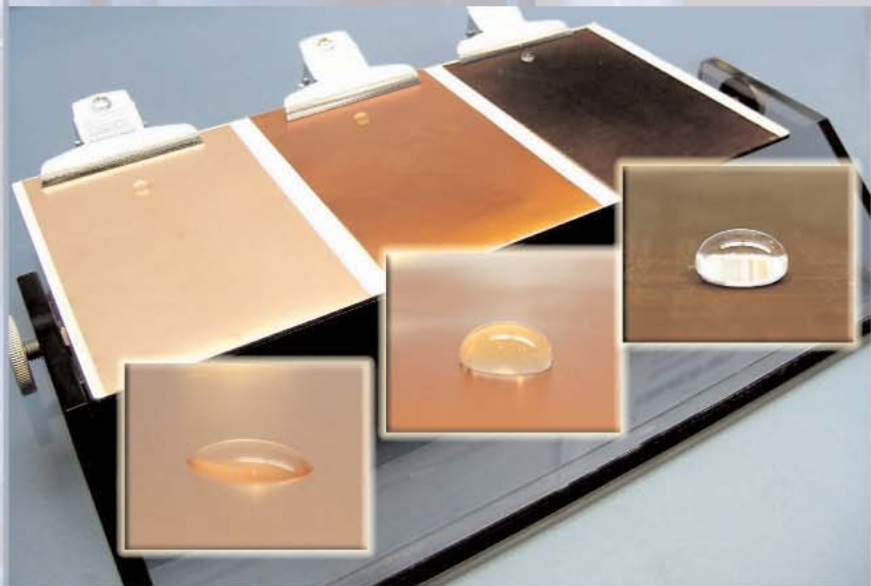
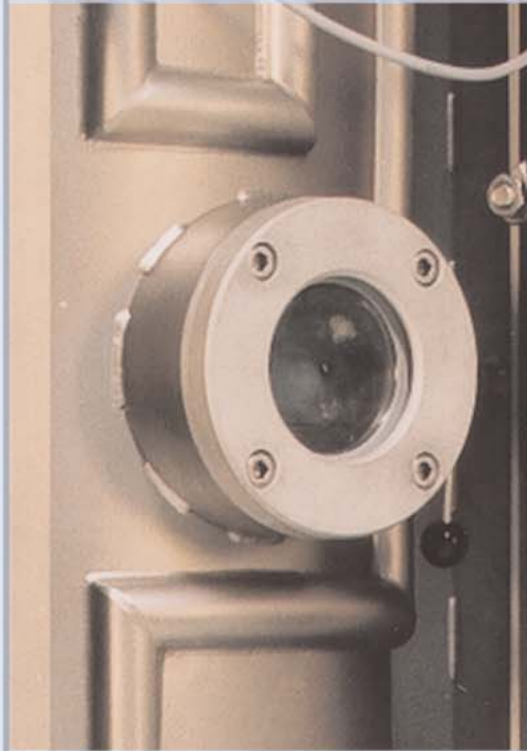
Abb. 2: FTIR-Spektrum für eine SiO₂-Schicht auf Edelstahl, gemessen mit dem IRspecXL

Prozessparameter	
Plasmagas	Ar / N ₂ -Mischung
Precursor	Tetraethoxysilan (TEOS) + O ₂
Dynamische Rate	0,3 - 0,8 nm m s ⁻¹
Statische Rate	60 - 80 nm s ⁻¹
Substrattemperatur	150 °C
Substratgröße	10 x 10 cm ² oder Band mit 12 cm Breite
Substrate	Stahl, Al-Legierungen, Glas, ausgewählte Polymere

Tab. 1: Prozesskennwerte für die SiO₂-Schichtabscheidung mittels Atmosphärendruck-Mikrowellen-PECVD-Verfahren

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Liliana Kotte
 Tel.: 0351 / 2583 439
 liliana.kotte@iws.fraunhofer.de



Forschungs- und Entwicklungsangebot: PVD-Dünnschichttechnologie

Redaktion: Seit Jahren bilden die superharten amorphen Kohlenstoffschichten (ta-C) einen Schwerpunkt ihrer Abteilung. Was gibt es Neues?

Prof. Schultrich: Die wichtigste Entwicklung auf diesem Gebiet spielt sich auf dem Markt ab. An den Anfragen und Projekten, vorrangig im Umfeld der Automobilindustrie, merken wir das deutlich gesteigerte Interesse an den ta-C-Schichten.

Redaktion: Worauf ist diese gesteigerte Nachfrage zurückzuführen?

Prof. Schultrich: Vorrangig auf die ehrgeizigen Ziele der Automobilindustrie zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Emissionen. Den damit zu erwartenden deutlichen Steigerungen der tribologischen Belastungen sind die bisher eingesetzten Materialien und Oberflächenbehandlungen nicht mehr gewachsen. Die ta-C-Schichten mit ihrer Kombination von sehr hoher Härte und geringer Adhäsionsneigung ermöglichen in vielen Fällen einen aussichtsreichen Lösungsansatz. Sicher spielt auch der gewachsene Bekanntheitsgrad der ta-C-Schichten und das zunehmende Verständnis für die Unterschiede der verschiedenen Kohlenstoffschichttypen eine Rolle.

Redaktion: Aber es gibt sicher auch Konkurrenz?

Prof. Schultrich: Ja, zum Glück, denn verschiedene Firmen haben bereits eigene positive Erfahrungen mit ta-C-Schichten konkurrierender Einrichtungen gewonnen oder wissen von derartigen Erfahrungen ihrer Konkurrenten und kommen gerade deshalb zu uns.

Redaktion: Dann müssen die ta-C-Schichten des IWS aber überzeugende Vorteile bieten?

Prof. Schultrich: Ja, unsere Diamor®-Schichten zeichnen sich vor allem

durch zwei Besonderheiten aus: Zum einen können dank eines optimierten Schichtaufbaus auch dickere Schichten von fünf Mikrometern und mehr zuverlässig und haftfest abgeschieden werden und zum anderen verfügen wir über Beschichtungstechnologien, die auch für die industrielle Massenproduktion geeignet sind. Nicht zuletzt sind wir bereit und fähig, gemeinsam mit unseren Partnern industrielle Beschichtungsanlagen mit integrierter ta-C-Technologie zu liefern.

Redaktion: Wo sehen sie das künftige Entwicklungspotenzial der ta-C-Schichten?

Prof. Schultrich: In der ganzheitlichen Betrachtung der beanspruchungsgerechten und kostenoptimierten Auslegung der Fertigungskette. Ein aktueller Schwerpunkt ist die Gestaltung der Oberflächentopographie, die sowohl durch die Bearbeitung des Bauteils wie auch durch den Beschichtungsprozess bestimmt wird.

Redaktion: Gibt es neben den tribologischen Komponenten weitere aussichtsreiche Marktsegmente für die Diamor®-Schichten?

Prof. Schultrich: In erster Linie werden wir, aufbauend auf sehr überzeugenden Erprobungsergebnissen, die Anwendung der Diamor®-Beschichtung für die spanende Bearbeitung von Nichteisen-Metallen, insbesondere von Aluminium-Legierungen vorantreiben. Bei Umformwerkzeugen ergeben sich neue Ansätze durch die Umsetzung der positiven Erfahrungen mit geglätteten Diamor®-Schichten. In der Erprobung befindet sich die Nutzung als Ultrabarrieren. Einen Sprung in völlig neue Anwendungsgebiete haben wir mit den begonnenen Entwicklungsarbeiten zur Massenherstellung von einwandigen Kohlenstoff-Nanoröhren gewagt, die auf unsere Erfahrungen mit der Kohlenstoff-Beschichtung aufbaut.



*Ein Versuch ist nichts,
es zählt nur das Ergebnis.*
George Bernard Shaw



Prof. Bernd Schultrich
Abteilungsleiter
(Tel. 2583 403,
bernd.schultrich@iws.fraunhofer.de)

Beispiele aus den Arbeiten 2005

1. Superharte Kohlenstoffschichten für trocken laufende Zahnräder 66
2. Laserakustische Charakterisierung von Low-k-Dielektrika 67
3. ProArc - die frei programmierbare Brennflecksteuerung für die Arc-Beschichtung 68
4. Superharte Beschichtung für die Zerspanung von Aluminium-Legierungen 69





Prof. Bernd Schultrich

Gruppenleiter Kohlenstoffschichten
(Tel. 2583 403,
bernd.schultrich@iws.fraunhofer.de)

Beschichtung mit superhartem amorphem Kohlenstoff

Amorphe Kohlenstoffschichten mit tetraedrischen Diamantbindungen (ta-C) vereinen sehr hohe Härte, niedrige Reibung und chemische Inertheit. Sie sind deshalb in hervorragendem Maße als Schutzschichten einsetzbar. Die vom IWS entwickelten ta-C-Schichtsysteme (Diamor®) können mit sehr guter Haftung im Schichtdickenbereich von wenigen Nanometern bis zu einigen zehn Mikrometern abgeschieden werden. Die Abscheidung erfolgt bei niedrigen Temperaturen im Vakuum mit speziell entwickelten Puls-Bogen-Verfahren. Für die industrielle Einführung der Diamor®-Schichten liefert das IWS zusammen mit Partner-Unternehmen neben der Technologie auch die erforderlichen Beschichtungsquellen und Beschichtungsanlagen. Das Angebot wird ergänzt durch die laserakustische Prüftechnik Lawave® zur Qualitätssicherung und Schichtoptimierung.



Anlage zur Abscheidung von superharten diamantähnlichen Kohlenstoffschichten (Diamor®) nach dem Laser-Arc-Verfahren



Dr. Otmar Zimmer

Gruppenleiter PVD-Schichten
(Tel. 2583 257,
otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de)

Beschichtung mittels aktivierter Hochrateverfahren

Verfahren der Physikalischen Dampfphasenabscheidung (PVD = Physical Vapor Deposition) erlauben die Abscheidung hochwertiger tribologischer und funktioneller Schichten im Dickenbereich von wenigen Nanometern bis zu einigen zehn Mikrometern. Dazu stehen im IWS Verfahren von der Hochrate-Bedampfung bis hin zu hochaktivierten Plasmaverfahren sowie deren Kombination zur Verfügung. Einen besonderen Schwerpunkt bildet die umfassende Nutzung von Bogenentladungen als der effektivsten Quelle energiereicher Dampfstrahlen. Auf der Grundlage dieser Technologien bieten wir an:

- Musterbeschichtungen,
- Schichtcharakterisierung,
- Entwicklung von Schichtsystemen,
- kundenspezifische Anpassung von Beschichtungsverfahren,
- Wirtschaftlichkeits- und Machbarkeitsstudien,
- Entwicklung und Fertigung angepasster Anlagenkomponenten.



Metallverdampfung mittels Elektronenstrahltechnologie

Superharte Kohlenstoffschichten für trocken laufende Zahnräder

Aufgabenstellung

Konventionelle Zahnradpaarungen in Motoren und Getrieben sind fast ausnahmslos aus Stahl und damit auf eine Schmierung angewiesen, da sonst hohe Reibverluste aufträten bzw. ein großer Verschleiß zur Zerstörung führen würde. Eine Schmierung ist jedoch stets mit Wartungsaufwand verbunden und außerdem in punkto Sauberkeit und Ökologie negativ zu bewerten. Durch aufwändig herzustellende Vollkeramik-Zahnräder sind zwar schmierfreie Zahnradpaarungen mit geringem Verschleiß möglich, jedoch verursachen die hohen Reibwerte bei höheren Belastungen große Verlustleistungen, Überhitzung und starke Laufgeräusche. Die ideale Lösung wäre ein Überzug für konventionelle Zahnräder, der neben einem lebenslangen Verschleißschutz ähnlich niedrige Reibwerte wie in geschmierten Kontakten mit sich brächte.

Lösungsweg

Harte amorphe Kohlenstoffschichten sind aussichtsreiche Kandidaten für diese Anwendung, da sie genau die geforderte Kombination von geringem Verschleiß und niedrigen Trockenreibungskoeffizienten mit sich bringen. Die im Fraunhofer IWS entwickelten Diamor®-Kohlenstoffschichten sind aufgrund ihrer großen Diamantähnlichkeit und Superhärte ($H > 40$ GPa) besonders prädestiniert. Zunächst wurden Diamor®-Schichten umfangreichen Tests im Zwei-Scheiben-Tribometer unterzogen, um einerseits das Schichtsystem an die Belastung anzupassen und andererseits Reib- und Verschleißwerte bei unterschiedlichen Laststufen zu ermitteln. Die gemessenen Reibwerte (Schicht gegen Schicht, trocken) lagen selbst bei Pressungen oberhalb von 1300 MPa und einem Schlupf von 30 % bei maximal 0,15. Mit diesen Voruntersuchungen wurde

gezeigt, dass die Diamor®-Schichten gute Voraussetzungen für die Anwendung auf hochbelasteten Zahnrädern mit sich bringen.

Ergebnisse

Die Übertragung des optimierten Schichtsystems erfolgte zunächst auf Zahnradpaarungen mit konventioneller Geometrie (Abb. 2). Mit bis zu 6 µm dicken Diamor®-Schichten versehene Paarungen absolvierten Testläufe bei verschiedenen Laststufen. Dabei durchliefen die Schichten einen kurzen Einlaufvorgang, in dessen Ergebnis zwei hochpolierte Kontaktflächen entstanden. Es folgte ein stationärer Zustand. Die Laufgeräusche lagen dabei etwas höher als bei Öl geschmierten Zahnrädern (85 dBA gegenüber 82 dBA auf einer mittleren Laststufe).

Die bei der mittleren Laststufe erreichten Lebensdauerwerte im Vergleich zu einer konventionellen DLC-Schicht sind in Abb. 1 zusammengestellt. Es zeigt sich, dass mit einer höheren Schichtdicke anwendungsrelevante Lebensdauerwerte erreicht werden können. Insbesondere gilt dies für ein Zahnrad mit verlustminimierter Geometrie (Abb. 3), mit dem die Lebensdauer auf über $2,5 \times 10^6$ Zyklen gesteigert werden konnte.

Neben diesen positiven Ansätzen für den reinen Trockenlauf zeigten die Schichten ihr hervorragendes Potenzial hinsichtlich Notlaufeigenschaften sowie mangelgeschmierten Kontakten. Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen des EU-Projektes »Oil-free Powertrain« und wurden zum Teil im Fraunhofer IKTS bzw. im Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktionen an der TU Dresden durchgeführt.

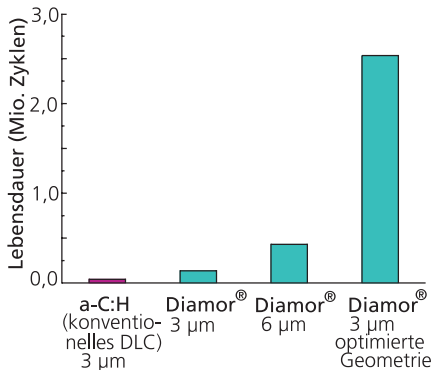


Abb. 1: Vergleich der Lebensdauer-Werte (Zyklen bis zum Durchreiben der Schicht) für verschiedene Schichten



Abb. 2: Zahnrad mit 3 µm Diamor® beschichtet



Abb. 3: Diamor® beschichtetes Zahnrad mit verlustminimierter Geometrie

Ansprechpartner

Dr. Volker Weihnacht
Tel.: 0351 / 2583 247
volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de



Laserakustische Charakterisierung von Low-k-Dielektrika

Aufgabenstellung

Die fortschreitende Integration mikroelektronischer Schaltkreise verlangt die Einführung von Isolationsschichten mit niedriger Dielektrizitätskonstante, die auch als low-k-Schichten bezeichnet werden. Vielversprechende Isolatormaterialien sind SiCOH-Xerogele mit hoher Porosität (bis zu 50 Prozent), mit denen dielektrische Konstanten von $k < 2,2$ erreicht werden können. Ihren guten elektrischen Eigenschaften steht aber die auf Grund der hohen Porosität noch unzureichende mechanische Festigkeit in Kupfer-Damascene-Leiterstrukturen entgegen. Diese ist unbedingt zu verbessern, um die notwendigen chemo-mechanischen Polierprozesse unbeschadet überstehen zu können. Die Herstellung von hochporösen low-k-Schichten mit ausreichender mechanischer Festigkeit ist deshalb eine wichtige Entwicklungsaufgabe, die durch geeignete mechanische Prüftechnik unterstützt werden muss. Die Aufgabe besteht darin, geeignete Charakterisierungsverfahren zur Schichtoptimierung zu finden. Sie müssen in der Lage sein, eine zuverlässige Charakterisierung des mechanischen Verhaltens der dünnen und porösen Schichten zu gewährleisten. Die hohe Porosität erschwert die Anwendung traditioneller Testverfahren, die darüber hinaus auch Schichtdicken erfordern, die deutlich über denen liegen, die für die praktische Anwendung bedeutsam sind.

Lösungsweg

Die laserakustische Prüfmethode LAwave® beruht auf akustischen Oberflächenwellen. Die äußerst geringe Deformation, die von diesen mechanischen Wellen im Schichtmaterial hervorgerufen wird, beeinflusst die Porenstruktur nicht, so dass das Messergebnis von verfälschenden Einflüssen des Messgerätes frei ist. Die akustische Wellenausbreitung wird von den elastischen Eigenschaften und der Dichte

bestimmt. Deshalb können zwei wichtige Schichtparameter ermittelt werden, der Elastizitätsmodul und die Dichte der Schicht. Dazu wird die experimentell ermittelte Dispersionskurve, die Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit von der Frequenz, durch die berechnete Dispersionskurve mit optimal gewählten Schichtparametern (Dichte, Elastizitätsmodul) angepasst. Der Elastizitätsmodul ist eine fundamentale mechanische Werkstoffkenngröße, welche das elastische Deformationsverhalten des Schichtmaterials kennzeichnet. Die Dichte ist ein Maß für die Porosität, die einen wichtigen Gefügeparameter für die elektrische Funktion des low-k-Schichtmaterials darstellt. Das Verfahren kann auch für dünne Schichten im Submikrometerbereich angewendet werden.

Ergebnisse

Durch systematische Untersuchungen wurde die geringste Schichtdicke herausgefunden, bei der noch beide Schichtparameter, Elastizitätsmodul und Dichte unabhängig voneinander bestimmt werden können. Abb. 1 zeigt die Messkurven für Schichten mit einer Dicke d im Bereich von 72 bis 821 nm. Die untere Grenze für die Bestimmung beider Schichtkennwerte liegt bei $d = 155$ nm. Unterhalb dieses Grenzwertes kann nur noch die Dichte der Schicht bestimmt werden.

Die Ergebnisse sind zahlenmäßig in Tabelle 1 wiedergegeben. Sie bringen zum Ausdruck, dass die Messungen gut reproduzierbar sind und auch für Schichten durchgeführt werden können, deren Dicke im technisch interessanten Bereich und damit deutlich unter denen der bisherigen Testverfahren liegen. Die Prüfung kann mit dem LAwave®-Gerät einfach und in weniger als einer Minute durchgeführt werden. Dies ist optimal für die Werkstoffentwicklung und die technologische Kontrolle.

Schichtdicke	Elastizitätsmodul E, GPa		Dichte ρ , g / cm ³	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
821 nm	1,8	0,01	0,866	0,002
422 nm	1,69	0,03	0,889	0,002
155 nm	1,96	0,6	0,87	0,013
99 nm	-	-	0,87	0,02
72 nm	-	-	0,91	0,02

Tab. 1: Ergebnisse für Elastizitätsmodul E und Dichte ρ von low-k-Widerstandsschichten mit abnehmender Schichtdicke

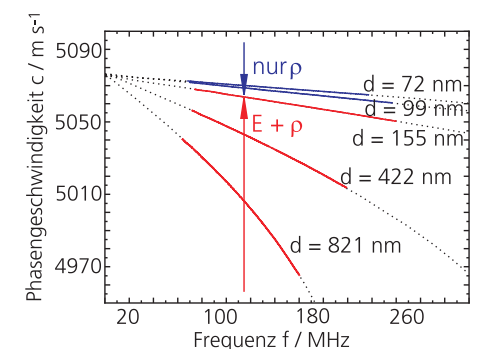


Abb. 1: Laserakustische Messkurven für low-k-Widerstandsschichten mit Schichtdicken im Bereich von $d = 72$ bis 821 nm

Ansprechpartner

Dr. Dieter Schneider
Tel.: 0351 / 2583 451
dieter.schneider@iws.fraunhofer.de

ProArc-die frei programmierbare Brennflecksteuerung für die Arc-Beschichtung

Aufgabenstellung

Der Kathodenabtrag bei Vakuumbogenverdampfern (Arc-Verdampfern) erfolgt im kathodischen Brennfleck. Dessen Bewegung ist ausschlaggebend für die Kathodenausnutzung, das Schichtdickenprofil und die Plasmeeigenschaften. Herkömmliche Arc-Verdampfer haben entweder keine Möglichkeit der Steuerung (random arc) oder es werden Permanentmagnete genutzt, was in der Regel zu einem stark inhomogenen Kathodenabtrag und damit zu einer unzureichenden Targetausnutzung führt. Mit solchen Verdampfern ist eine gezielte Beeinflussung des Schichtdickenprofils (möglichst homogene Schichtdickenverteilung oder gezielter Gradient) nur mit erhöhtem Aufwand möglich. Es galt, ein Brennfleck-Steuersystem zu entwickeln, das bei der Verwendung von Großflächenkathoden die Effektivität und Qualität der Vakuumbogenbeschichtung signifikant verbessert.

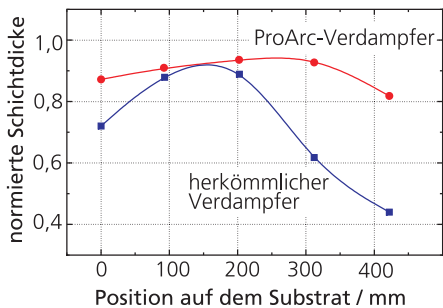


Abb. 1: Schichtdickenhomogenität auf einem Substrat von 420 mm Länge (Länge der Kathode: 400 mm)



Abb. 2: Arc-Beschichtungsanlage mit Brennflecksteuersystem ProArc

wird. Die Spulenströme können separat eingestellt und zeitlich variiert werden. Durch diese Konstruktion sind gezielt sehr unterschiedliche Brennfleckbahnen einstellbar, die dynamisch verändert werden können.

Ergebnisse

Das Brennfleck-Steuersystem ProArc ermöglicht eine deutlich verbesserte Kathodenausnutzung, und definiert einstellbare Schichtdickenprofile. Es wird eine verstärkte Plasmaanregung erreicht, wodurch Schichteigenschaften wie Härte und Verschleißfestigkeit positiv beeinflusst werden können. Dies gelingt durch die exakte Führung des Kathodenbrennflecks auf der Kathodenoberfläche. Die vollautomatische Computersteuerung ermöglicht die Programmierung komplexer Prozessabläufe, wodurch die Brennfleckbahn den aktuellen Prozessbedingungen optimal angepasst werden kann.

Die dynamische Brennflecksteuerung ProArc ist prinzipiell zur Verwendung an beliebigen Vakuumbogen-Großflächenverdampfern geeignet. Sie kann an verschiedene Verdampfergeometrien angepasst und für unterschiedliche Einsatzfälle modifiziert werden. Abbildung 2 zeigt das Steuersystem ProArc, installiert an einer industriellen Vakuumbogen-Beschichtungsanlage. Abbildung 1 zeigt die Schichtdickenverteilung, wie sie mit dem ProArc-System erreicht werden kann. Zum Vergleich ist die Verteilung dargestellt, die mit einem herkömmlichen Verdampfer gleicher Größe erreichbar ist. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Wirkung des Steuersystems auf die Bewegung des Brennflecks. Das System eignet sich sowohl zur Ausrüstung neuer Anlagen als auch zum Nachrüsten bestehender Anlagen.

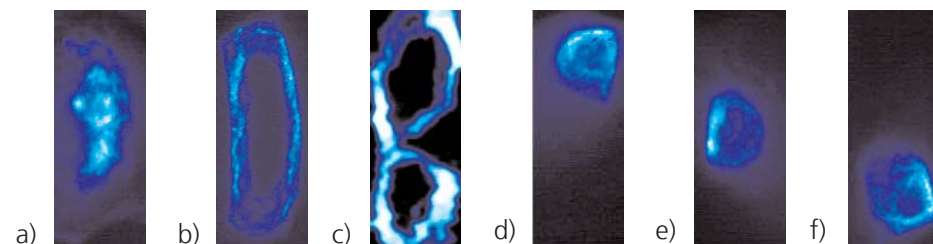


Abb. 3: Brennfleckbahnen bei verschiedenen Magnetfeldkonfigurationen:
a) ungesteuert, b) Steuerung mit Dauermagnet, c) - f): dynamische Steuerung mit ProArc

Lösungsweg

Mit Hilfe eines computergesteuerten Magnetsystems wird die Bewegung des Vakuumbogen-Brennflecks auf der Kathodenoberfläche dynamisch gesteuert. Das Magnetsystem besteht aus einer Matrix aus Elektromagneten, mit der das Steuermagnetfeld für den Brennfleck der Arc-Entladung geformt

Ansprechpartner

Dr. Otmar Zimmer
Tel.: 0351 / 2583 257
otmar.zimmer@iws.fraunhofer.de



Superharte Beschichtung für die Zerspanung von Aluminium-Legierungen

Aufgabenstellung

Die Gewichtsreduzierung zur Verminderung des Treibstoffverbrauchs stellt eine der Hauptentwicklungsrichtungen im Fahrzeugbau dar. Für den dazu erforderlichen Leichtbau werden in zunehmendem Maße Aluminium-Legierungen eingesetzt. Bei der Zerspanung dieser Legierungen treten zwei Probleme auf: Das niedrig schmelzende Aluminium neigt zur Adhäsion am Werkzeug, verbunden mit Materialübertrag und Langspanbildung. Die in der Legierung enthaltenen harten intermetallischen Phasen und Aluminiumoxidpartikel führen zu einem starken abrasiven Werkzeugverschleiß. Es war eine Beschichtung zu entwickeln, die einerseits den Werkzeugverschleiß mindert und andererseits die Adhäsion zu Aluminium reduziert.

Lösungsweg

Die adhäsiven und abrasiven Wechselwirkungen können durch geeignete Werkzeugbeschichtungen stark vermindert werden. Besonders aussichtsreich sind Beschichtungen mit tetraedrisch gebundenem amorphem Kohlenstoff (ta-C). Derartige Schichten kombinieren eine sehr hohe Härte von 40 bis 50 GPa mit einer sehr geringen Adhäsionsneigung. Der industriellen Anwendung bisher entgegenstehende Probleme wurden im Fraunhofer IWS durch gezielte Schichtentwicklung (besonders zur Erhöhung der Haftfestigkeit) und durch die Entwicklung einer industriell einsetzbaren Anlagentechnik (auf der Basis gepulster Vakuumbogenverfahren) überwunden.

Ergebnisse

Für die Firma Kennametal / Rübigen wurden Einzahn-Hartmetallfräser (Durchmesser 12 mm) mit den im

Fraunhofer IWS entwickelten ta-C-Schichten (Diamor®) beschichtet und anschließend bei BMW in der Kleinserienproduktion getestet. Dabei wurden mit Minimalmengenschmierung 14 mm-Bohrungen in Bauteilen aus den hochfesten Aluminiumlegierungen AlMgSi0,5 und AlMgSi1 durch spiralförmiges Zirkularfräsen auf 17,17 mm vergrößert. Die eingestellte Drehzahl von 22000 min⁻¹ entspricht Umfangsgeschwindigkeiten von 830 m min⁻¹, der Vorschub von 0,11 mm pro Zahn einer Vorschubgeschwindigkeit von 2,5 m min⁻¹.

Den positiven Einfluss der hohen Härte der ta-C-Schichten erkennt man aus dem Vergleich mit a-C:H-Schichten, die ein vergleichbar günstiges Adhäsionsverhalten zeigen. Die Standzeit wurde durch die Diamor®-Beschichtung



Abb. 1: Einzahn-Hartmetallfräser für das Zirkularfräsen hochfester Aluminium-Legierungen

gegenüber den a-C:H beschichteten Werkzeugen von 180 min auf 360 min verdoppelt. Es traten keine Aufbauschneiden auf. Gleichzeitig wurde die Formtreue deutlich verbessert: Anstelle der bei den a-C:H-Schichten auftretenden konischen Bohrungen mit Abweichungen von 150 µm wurden mit den ta-C-beschichteten Werkzeugen zylindrische Bohrungen mit minimalen Abweichungen realisiert.

Dieser Praxistest zeigt das große Potenzial der Diamor®-Schichten für die Leistungssteigerung und Qualitätsverbesserung bei der spanenden Bearbeitung von Aluminium-Legierungen. Gegenwärtig laufen Untersuchungen zur Qualifizierung dieser Schichtsysteme für die Aluminium-Umformung.

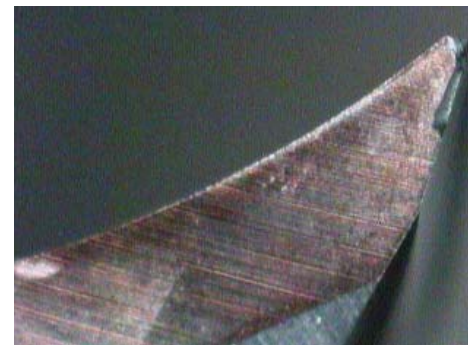
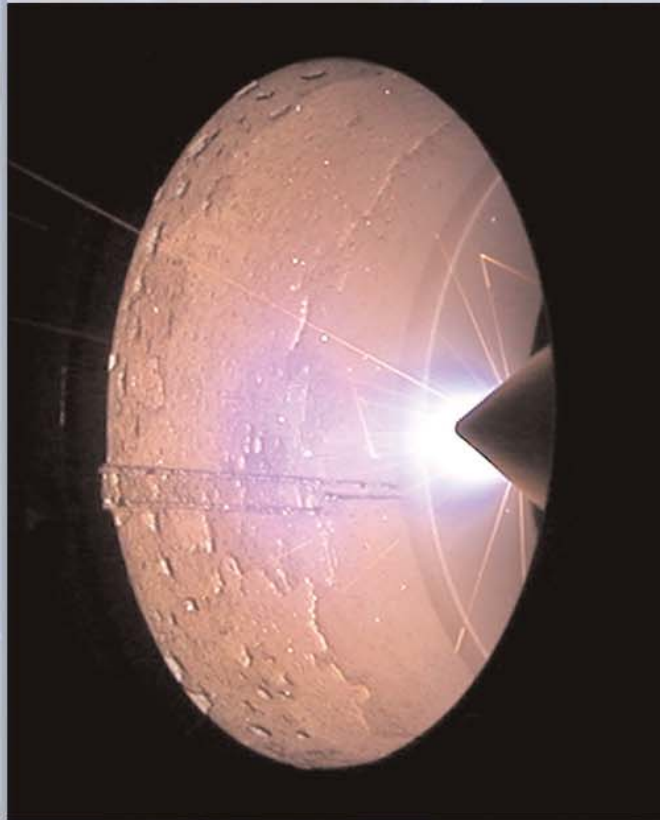
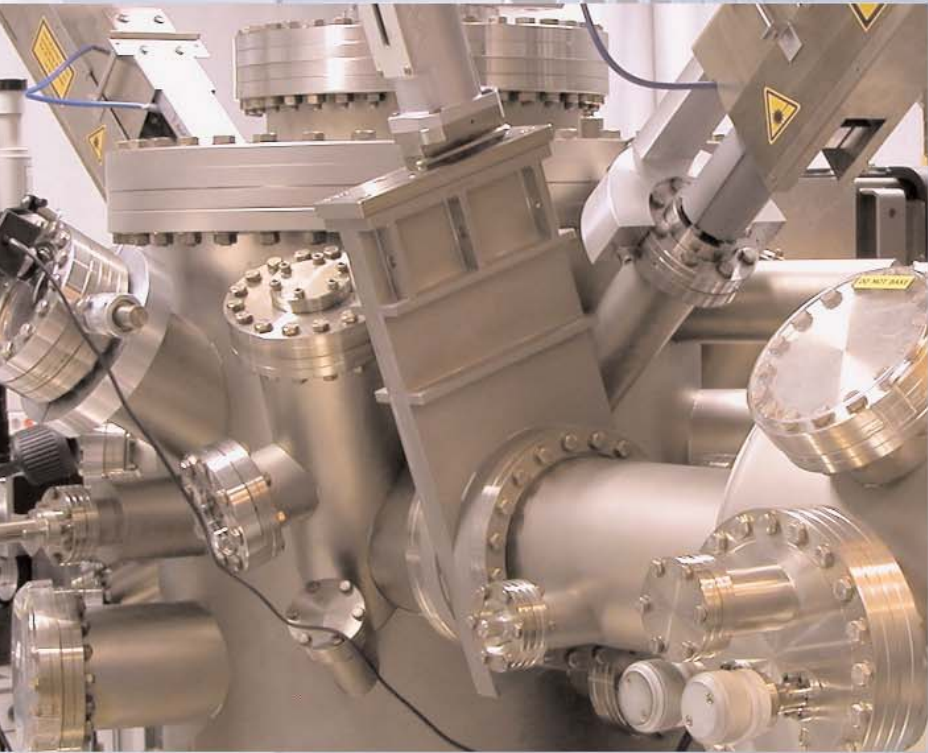


Abb. 2: Schneidkante eines Diamor®-beschichteten Einzahnfräasers nach dem Einsatz ohne erkennbare Aufbauschneidbildung

Ansprechpartner

Dr. Volker Weihnacht
Tel.: 0351 / 2583 247
volker.weihnacht@iws.fraunhofer.de



Forschungs- und Entwicklungsangebot: Röntgen- und EUV-Optik

Redaktion: Die Kernkompetenzen Ihrer Abteilung umfassen die Herstellung röntgenoptischer Komponenten sowohl für den klassischen Bereich der Röntgenstrahlung im Spektrum wie auch für den EUV-Bereich. Welche Fortschritte hat es hier im Jahr 2005 gegeben?

Dr. Leson: Wir haben unser Spektrum deutlich erweitert und sind jetzt in der Lage, für alle interessierenden Wellenlängenbereiche qualitativ hochwertige Multischichtsysteme mit exzellenten technischen Parametern anzubieten. Dies ist besonders für die Röntgenfluoreszenzanalytik interessant. Im EUV-Bereich, wo wir seit geraumer Zeit die weltbesten Werte hinsichtlich der Reflektivität erzielen, haben wir uns erfolgreich um die Optimierung weiterer Parameter, wie beispielsweise die Reduzierung der Eigenspannungen bemüht. Zudem konnten wir unsere Kompetenz bei der Erzeugung von Gradientenschichtsystemen deutlich ausbauen.

Redaktion: Im laufenden Jahr 2005 haben Sie mit Ihrer Abteilung neue Laborräume in dem IWS-Anbau bezogen. Welche zusätzlichen Möglichkeiten haben Sie dadurch gewonnen?

Dr. Leson: In der Tat waren unsere experimentellen Möglichkeiten in den vergangenen Jahren durch die räumliche Enge in den zur Verfügung stehenden Labors teilweise sehr eingeschränkt. Durch die neuen Laborräume, die durch den Anbau des IWS jetzt zur Verfügung stehen, können wir unsere Anlagen unter wesentlich besseren äußeren Bedingungen nutzen. Durch den Betrieb der Anlagen unter reinraumnahen Bedingungen

erwarten wir eine deutliche Verbesserung der Präzision und Reproduzierbarkeit bei der Herstellung unserer Multischichten. Darüber hinaus haben wir unsere Anlagentechnik um eine neu aufgebaute Ionenstrahlsputter-Anlage ergänzt. Dieses für uns neue Beschichtungsverfahren erweitert unsere bisherigen Möglichkeiten des Magnetronsputterns und der Puls-Laser-Deposition. Wir erhoffen uns insbesondere bei der Herstellung von Multischichtsystemen mit ultradünnen, nur ein bis zwei Nanometer dicken Einzelschichten, mit dieser Technik deutliche Vorteile gegenüber unseren anderen Verfahren.

Redaktion: Neben der Präzisionsbeschichtung für röntgenoptische Komponenten befasst sich Ihre Abteilung auch mit anderen speziellen Beschichtungen. Welche sind dies?

Dr. Leson: Wir nutzen das Verfahren der Puls-Laser-Deposition nicht nur für die Herstellung von röntgenoptischen Multischichten sondern beispielsweise auch für die Innenbeschichtung von Bauteilen, die sich mit anderen PVD-Verfahren nur sehr schwierig oder gar nicht realisieren lässt. Im vergangenen Jahr haben wir insbesondere die Erzeugung von sehr harten Kohlenstoffschichten auf Innenflächen vervollkommenet.



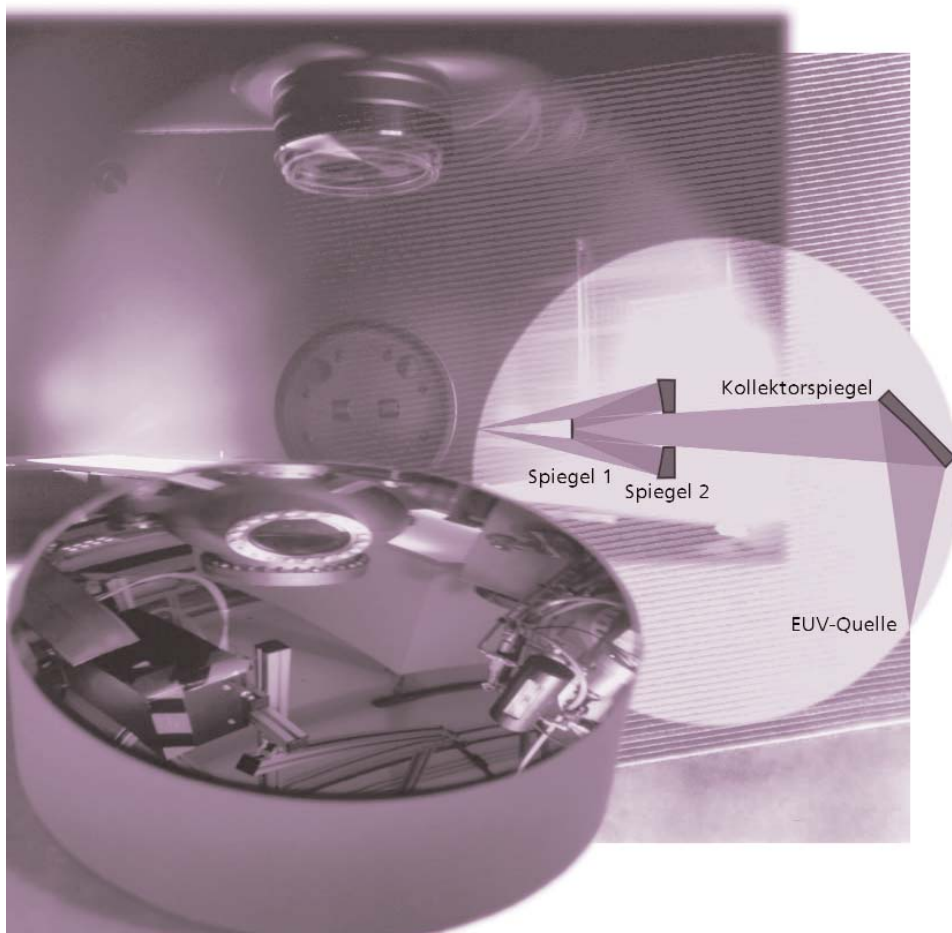
*Entdecken heißt, sehen,
was jeder gesehen hat,
und dabei denken,
was niemand gedacht hat.*
Albert Szent-Györgyi



Dr. Andreas Leson
Abteilungsleiter
(Tel. 2583 317,
andreas.leson@iws.fraunhofer.de)

Beispiele aus den Arbeiten 2005

1. Reflexionsschichten für den extrem ultravioletten (EUV) Spektralbereich 74
2. Hochreflektierende Monochromatoren für die Röntgenfluoreszenzanalyse 75
3. Ionenstrahlputtern für die Multischichtsynthese 76
4. Verbesserung der Haftfestigkeit superharter amorpher Kohlenstoffschichten auf Innenflächen 77





Dr. Stefan Braun

Gruppenleiter Beschichtung
(Tel. 2583 432,
stefan.braun@iws.fraunhofer.de)

Multischichten für EUV- und röntgenoptische Anwendungen

Einfach- und Multischichtsysteme, die mittels Puls-Laser- und Magnetron-Sputter-Deposition hergestellt werden, zeichnen sich aus durch:

- höchste Schichtdickengenauigkeit,
- geringste Grenzflächenrauigkeiten,
- hohe chemische Reinheit,
- hohe laterale Homogenität und
- sehr gute Dickenreproduzierbarkeit.

Schichtsysteme unterschiedlicher Materialkombinationen können auf ebenen oder gekrümmten Substraten mit bis zu 150 mm Durchmesser mit und ohne Gradient der Periodendicke abgeschieden werden.

Das Hauptanwendungsgebiet solcher Multischichten ist der Einsatz als röntgenoptisches Bauelement zur Strahlformung und Monochromatisierung. Neben der Synthese von Einfach- und Multischichten nach Kundenwunsch bieten wir unsere langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Präparation, Charakterisierung und Simulation röntgenoptischer Bauelemente an.



Substratbestückung an einer UHV-Präzisionsbeschichtungsanlage zur Herstellung von nm-Multischichten

Metrologie und Applikation

Arbeitsschwerpunkte sind die Reflektometrie, die Diffraktometrie sowie die Weiterentwicklung von Optiksystemen und Messverfahren.

Mit Standard-Röntgenanalysegeräten werden unter Einsatz von Cu-K α - bzw. Mo-K α -Strahlung zerstörungsfreie Messungen zur Bestimmung von Schichtdicken, Schichttrauheiten und Dichten sowie zur qualitativen Phasenanalyse, vornehmlich an dünnen und / oder Multilagen-Schichten und / oder an Pulvern durchgeführt.

Zur Optimierung der Analyseverfahren wurden spezielle strahlformende Optiken, wie Beamkollimator und Beamkompressor entwickelt.

Zur Charakterisierung und Optimierung von Optiken für EUV-Anwendungen wurde ein Labor-Reflektometer mit der Arbeitswellenlänge von 10 bis 16 nm aufgebaut.



Gesamtansicht des EUV-Reflektometers

Reflexionsschichten für den extrem ultravioletten (EUV) Spektralbereich

Aufgabenstellung

Entsprechend der Roadmap der internationalen Halbleiterbranche wird in wenigen Jahren der Einsatz von extrem ultraviolettem Licht (EUV) mit einer Photonenwellenlänge von 13,5 nm notwendig, um Schaltkreisstrukturen mit Abmessungen deutlich unterhalb von 50 nm auf Siliziumwafern abbilden zu können. Dies erfordert den Einsatz reflektierender Röntgenoptiken, die durch die Abscheidung von hochpräzisen Nanometer-Multischichten erzeugt werden. In den vergangenen Jahren wurden im IWS erfolgreich hochreflektierende Mo/Si-Multischichten entwickelt.

Für ein zuverlässiges Multischicht-System mit hohem Durchsatz, hoher Präzision und langer Lebensdauer sind folgende Kriterien entscheidend:

- hohe Reflexion der einzelnen Spiegel,
- präzise Schichtdickengradienten,
- geringe Eigenspannung der Schichten.

Besonderes Augenmerk galt im IWS der Spannungskompensation der einzelnen Schichten, da Eigenspannungen zu Deformationen bei Lithographieoptiken sowie Mikrosiegeln führen können.

Lösungsweg

Die Herstellung von EUV-Spiegeln mit hohen Reflexionsgraden erfordert Beschichtungsbedingungen, die eine Erzeugung von Multischichten mit glatten Oberflächen ermöglichen. Als Verfahren kommt hier die Magnetron-Sputter-Deposition (MSD) zum Einsatz, wobei mit geringstmöglichen Sputtergasdrücken gearbeitet wird. Durch das Einbringen von Barrierschichten können eine Verringerung von Diffusion sowie chemischen Reaktionen zwischen einzelnen Teilschichten erreicht werden. Unter diesen Bedingungen kann im IWS ein Reflexionsgrad von 70 % erreicht werden.

Zur Erzeugung präziser Schichtdickengradienten kommen zwei Methoden zum Einsatz. Zum einen kann die Beschichtungszeit in Abhängigkeit von der Spiegelposition variiert werden, zum anderen ermöglicht der Einsatz von Transmissionsmasken mit lateral unterschiedlicher Durchlässigkeit die Abscheidung definierter zweidimensionaler Schichtdickengradienten.

Neben einem möglichst hohen Reflexionsgrad und präzisen Schichtdickengradienten muss weiterhin gesichert sein, dass die hochpräzise Oberflächenkontur des Spiegelsubstrates auch nach der Beschichtung erhalten bleibt. Aus diesem Grunde müssen die inneren Spannungen der Reflexionsschichten minimiert werden, ohne dass eine Verringerung des Reflexionsgrades erfolgt.

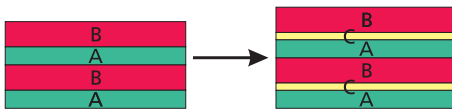
Die in Nanometer-Multischichten im Allgemeinen auftretenden inneren Spannungen können durch folgende Maßnahmen kompensiert oder reduziert werden (Abb. 1):

1. Designänderung durch den Einbau von weiteren Schichten zur Spannungsrelaxation,
2. Einbringung von Schichten oder Schichtstapeln mit entgegengesetztem Spannungszustand zur Spannungskompensation,
3. Temperaturbehandlung der Schichten zur Spannungsrelaxation.

Ergebnisse

Durch die Verknüpfung der drei Varianten zur Verringerung der Eigenspannungen erhält man Multischichten, die dicker sind als reine optische Schichten, aber dennoch die gleiche Reflektivität aufweisen. Durch die deutlich verringerte Gesamtspannung können Deformationen der Spiegel vermieden werden. Dies bedeutet einen deutlichen Fortschritt bei der Beschichtung von Lithographie-Optiken (Abb. 2) und bei der Mikrosiegel-Beschichtung.

1. Einbau von zusätzlichen Schichten



2. Kompensationsschichten



3. Temperung

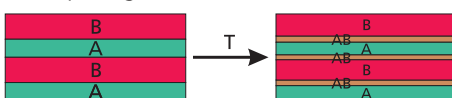


Abb. 1: Möglichkeiten zur Reduzierung und Kompensation von inneren Spannungen in nm-Multischichten

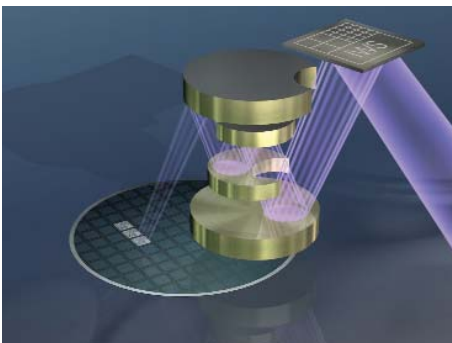


Abb. 2: Modell eines EUV-Wafer-Steppers, bei dem ultrapräzise Nanometerschichtsysteme zur Reflexion der Strahlung zum Einsatz kommen

Ansprechpartner

Dr. Stefan Braun
Tel.: 0351 / 2583 432
stefan.braun@iws.fraunhofer.de



Hochreflektierende Monochromatoren für die Röntgenfluoreszenzanalyse

Aufgabenstellung

Die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ist schon seit vielen Jahren als ein leistungsfähiges zerstörungsfreies Verfahren sowohl zur qualitativen als auch zur quantitativen Elementanalyse etabliert, das unter anderem in der Produktion (z. B. Zement- und pharmazeutische Industrie), der Qualitätssicherung (z. B. Nachweis von Schwefel in Kraftstoffen) und der Umwelttechnik (z. B. Überwachung von Abwässern und Reinigungsflüssigkeiten) zum Einsatz kommt.

Alle Anwendungen erfordern die steti-ge Weiterentwicklung der RFA-Geräte, um Nachweisgrenzen zu verringern oder Messzeiten zu verkürzen. Forschungsschwerpunkte des IWS sind die Verbesserung der zur Monochromatisierung eingesetzten Multischichten hinsichtlich Reflexions- und Auflösungsvermögen sowie die Unterdrückung von Strahlungsreflexionen höherer Ordnungen.

Lösungsweg

Ein besonderer Vorteil von Multischicht-Monochromatoren ist die Tatsache, dass Reflexionen höherer Ordnungen gezielt unterdrückt werden können. So ist z. B. der gleichzeitige Nachweis von Sauerstoff und Natrium mit Standard-Monochromatoren nicht eindeutig möglich, da im Spektrum eine Überlagerung der Sauerstofflinie erster Ordnung mit der Natriumlinie zweiter Ordnung vorliegt. Durch den Einsatz von Multischichten können höhere Reflexionsordnungen gezielt unterdrückt werden, indem das Verhältnis der Einzelschichtdicken innerhalb einer Periode verändert wird. Durch eine angepasste Wahl der Schichtmaterialien kann auch für diese speziellen Multischichten das Reflexions- und Auflösungsvermögen optimiert werden.

Eine weitere Herausforderung stellt die Herstellung von hochauflösenden Multischicht-Monochromatoren dar. Dafür müssen bis zu 1200 Einzelschichten mit Dicken im Bereich zwischen 0,5 und 1,0 nm präzise übereinander gestapelt werden. Aufgrund der geringen Einzelschichtdicken können keine Barrierschichten zur Reduzierung der Grenzflächendiffusion eingebracht werden. Dies beschränkt die Materialauswahl auf wenige Materialien. Darüber hinaus muss der Beschichtungsprozess stabilisiert werden, um jegliche Schwankungen der Beschichtungsrate zu vermeiden. Durch Reflexionsmessungen am Synchrotronstrahlungsring BESSY an W/B_4C -Multischichten mit 50, 300 und 600 Perioden und Periodendicken von $d_p = 1,24$ nm konnte nachgewiesen werden, dass die Erhöhung der Periodenanzahl nicht zu einem Rauheitsanstieg an den Grenzflächen der Einzelschichtdicken führt.

Ergebnisse

Im IWS können durch Auswahl geeigneter Materialien und Schichtdicken gezielt Multischicht-Monochromatoren für verschiedene Kundenanforderungen entwickelt und hergestellt werden. Neben der Verbesserung der Reflexion von Standard-Monochromatoren für die RFA (IWS-ML-S) sind Multischichten zur Unterdrückung höherer Reflexionsordnungen (IWS-ML-SOS) entwickelt worden, die eine um nahezu zwei Größenordnungen bessere Unterdrückung der zweiten Reflexionsordnung erlauben, ohne dass signifikante Reflexions- und Auflösungsverluste zu verzeichnen sind.

Für Anwendungen mit hohen Anforderungen hinsichtlich des Auflösungsvermögens stehen die Monochromatortypen IWS-ML-HR und IWS-ML-UHR zur Verfügung, die eine 3- bis 4fache Verbesserung gegenüber den Standardsystemen bieten.

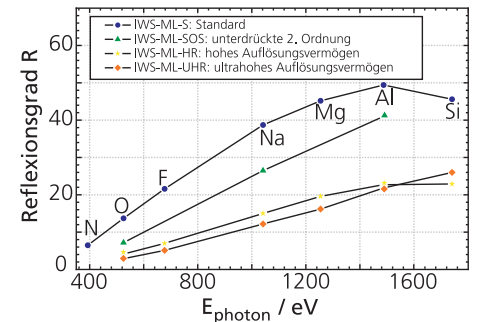


Abb. 1: Reflexionsgrad unterschiedlicher Multischicht-Monochromatortypen

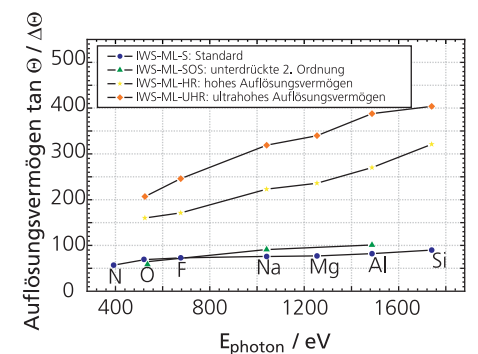


Abb. 2: Auflösungsvermögen unterschiedlicher Multischicht-Monochromatortypen



Abb. 3: Einsatz von im IWS hergestellten Multischicht-Monochromatoren in einem RFA-Gerät

Ansprechpartner

Dr. Stefan Braun
Tel.: 0351 / 2583 432
stefan.braun@iws.fraunhofer.de

Ionenstrahlputtern für die Multischichtsynthese

Aufgabenstellung

Hochreflektierende Multschichten für Optiken im Röntgen- und EUV-Bereich erfordern sowohl glatte als auch möglichst scharfe Übergänge der optischen Parameter an den Grenzflächen zwischen den Einzelschichten. Daher müssen zur Schichtherstellung Verfahren eingesetzt werden, welche die Substratrauheiten im Verlauf des Schichtwachstums nicht oder nur gering erhöhen. Dabei spielen insbesondere bei Multschichten mit Periodendicken im Nanometerbereich oder darunter die Wachstumsbedingungen (z. B. Inselwachstum, Kristallisation etc.) die entscheidende Rolle.

Bei dielektrischen Multschichten für Anwendungen vom UV- bis zum IR-Bereich sind die wesentlichen Anforderungen neben der Dickenhomogenität über große Flächen vor allem die möglichst geringe Absorption der Schichtmaterialien und der hohe Kontrast der Brechungsindizes.

strahlerzeugung, Sputterprozess und Beschichtungszone, die Herstellung qualitativ hochwertiger Multschichten für Anwendungen im Röntgen- und EUV-Bereich, aber auch für Systeme mit UV-, VIS- und IR-Strahlung. Es stellt damit eine hervorragende Ergänzung der seit mehreren Jahren am IWS genutzten Verfahren der Puls-Laser-Deposition und des Magnetronsputters dar.

Die Beschichtungsanlage ist mit zwei linearen ECR-Ionenstrahlquellen (100 x 400 mm²) ausgestattet, von denen eine den primären Sputtervorgang realisiert, die zweite auf das zu beschichtende Substrat gerichtet ist und damit einen zusätzlichen Ionenstrom vor oder während der Beschichtung bereitstellt. Dieser kann zur Glättung, Aktivierung oder auch Ätzung des Substrates und der Schicht eingesetzt werden (Abb. 1 u. 2). Weiterhin ist die Anlage mit einem Blenden- und Substratbewegungssystem ausgerüstet, welches die Dickenhomogenisierung mit Abweichungen kleiner 0,1 % über die gesamte Beschichtungsfläche erlaubt (bis zu 200 mm Durchmesser oder 100 x 500 mm²).

Lösungsweg

Das neu am IWS etablierte Verfahren des Ionenstrahlputterns erlaubt aufgrund seiner besonderen Eigenschaften, wie z.B. hoher Teilchenenergien und räumlicher Trennung von Ionen-

Ergebnisse

Bereits nach einer relativ kurzen Einfahrphase von wenigen Wochen konnten Multschichtsysteme hoher Regelmäßigkeit und Dickenhomogenität hergestellt werden. Die in Abb. 3 dargestellte Beschichtung des Systems Mo-Si weist eine Dickenabweichung von <0,1% über einen Substratdurchmesser von ca. 160 mm auf, wobei noch keine Blenden zur Formung des Beschichtungsstromes eingesetzt wurden, die weitere Homogenitätssteigerungen erwarten lassen. Weiterhin konnten bis in den UV-Bereich absorptionsfreie dielektrische Multschichten der Materialien SiO₂, Al₂O₃ und TiO₂ mit Brechungsindizes $n = 1,51$; $1,67$ und $2,39$ (@ 600 nm) erzeugt werden.

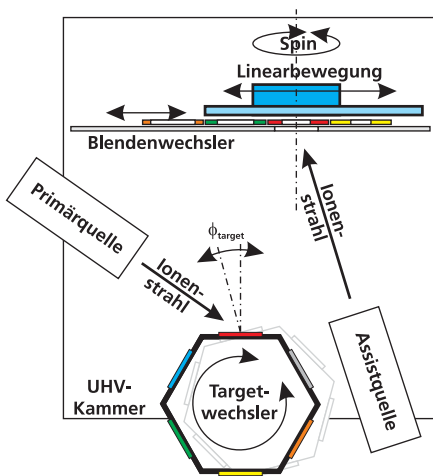


Abb. 1: Prinzipskizze der geometrischen Anordnung von Ionenstrahlquellen, Targets und Substrat in der Ionenstrahl-Sputteranlage



Abb. 2: Neue Ionenstrahl-Sputteranlage am IWS

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Peter Gawlitza
Tel.: 0351 / 2583 431
peter.gawlitza@iws.fraunhofer.de

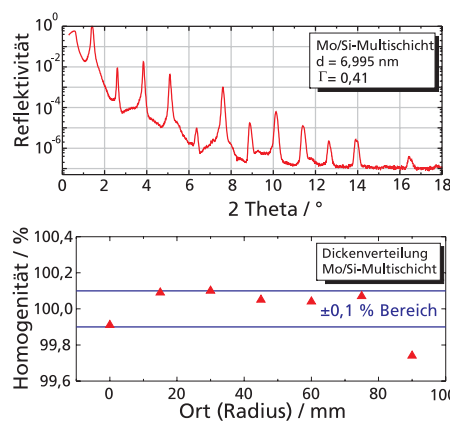


Abb. 3: Röntgenreflektogramm (oben, @ CuK α) und Dickenverteilung (unten) einer mittels Ionenstrahlputtern am IWS hergestellten Mo/Si-Multschicht



Verbesserung der Haftfestigkeit superharter amorpher Kohlenstoffschichten auf Innenflächen

Aufgabenstellung

Beschichtungen aus diamantartigem Kohlenstoff (Diamond Like Carbon - DLC) werden bereits erfolgreich zum Verschleiß- und Korrosionsschutz auf Werkzeugen eingesetzt. Durch den Einsatz von DLC-Schichten kann der Schmiermitteleinsatz auf ein Minimum reduziert oder sogar völlig vermieden werden, wodurch Standzeiten um ein Vielfaches gesteigert werden können.

Ein zentrales Problem bei der Beschichtung mit DLC ist die Haftfestigkeit der Schichten auf der Bauteiloberfläche. DLC-Schichten weisen im Allgemeinen hohe Druckeigenstressungen auf. Diese Eigenstressungen führen oft mit steigender Schichtdicke zur Delamination und damit zum Versagen der Schicht. Ziel der Untersuchungen war es, die Haftfestigkeit dieser Schichten auf Innenkonturen zu erhöhen und damit die maximal mögliche Beschichtungsdicke zu steigern.

Lösungsweg

Um die DLC-Haftfestigkeit zu steigern, wurde der Einfluss von haftvermittelnden Schichten zwischen Bauteil und DLC-Schicht untersucht, wobei die Haftvermittlermaterialien Ti, TiC, Cr und eine CrNi-Legierung zum Einsatz kamen. Diese Zwischenschichten wurden wie die erzeugten DLC-Schichten per Laserpulsabscheidung mittels gütegeschaltetem Nd:YAG-Laser bei einer Laserwellenlänge von 1064 nm erzeugt.

Ein weiterer Lösungsansatz zur Haftfestigkeitssteigerung bestand in der Minderung der Schichteigenstressungen, welche durch Laserpulsbestrahlung bei 355 nm Laserwellenlänge erfolgte.

Die Schichthaftung wurde mittels Rockwell-Eindrucktest an Proben aus CrNi-Stahl X5CrNi1810 untersucht. Weitere Schichteigenschaften wie Schichtdicke, -dichte und E-Modul wurden per Tastschnitt, Röntgenreflektometrie und Oberflächenwellenspektroskopie ermittelt.

Ergebnisse

Mit der am Fraunhofer IWS entwickelten Technologie der Innenbeschichtung mittels Laserpulsabscheidung (Abb. 1) gelingt es, Bauteile mit geringen Innendurchmessern (unter 7 mm) und großen Aspektverhältnissen homogen mit DLC zu beschichten.

Die Untersuchungen an DLC-Schichten mit E-Moduln über 450 GPa zeigen, dass die Schichthaftung durch den Einsatz geeigneter Haftvermittler erheblich gesteigert werden kann. Im Vergleich zu Proben ohne Haftvermittler kann die DLC-Schichtdicke durch das Einbringen von CrNi-Haftvermittlerschichten mehr als verzehnfacht werden (Abb. 2).

Durch das Bestrahlen der erzeugten DLC-Schichten mit ns-Pulsen können die Schichteigenstressungen (unbestrahlt: Druckspannung ca. 2 GPa) um 80% reduziert werden, wobei Schichteigenschaften wie z. B. Härte weitestgehend erhalten bleiben (Abb. 3). Vergleiche zu Schichteigenstressungen herkömmlicher, durch Excimerlaser-PLD oder Arc-Beschichtung erzeugter DLC-Schichten auf Außenkonturen (Druckspannung über 7 GPa) zeigen, dass die relaxierten Schichten (Druckspannung unter 0,4 GPa) extrem spannungsarm sind.

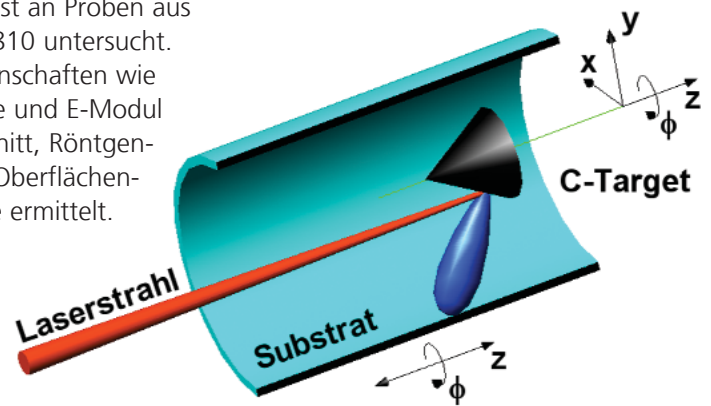


Abb. 1: Schematische Darstellung der Innenbeschichtung mittels Laserpulsabscheidung

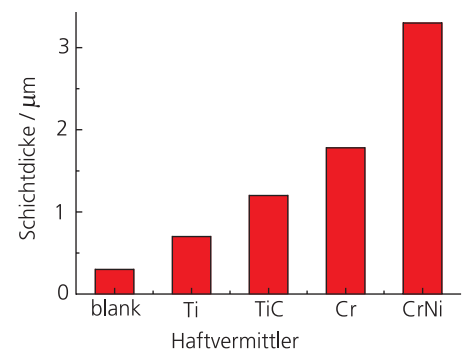


Abb. 2: Maximal erreichte DLC-Schichtdicken in Abhängigkeit vom Haftvermittler

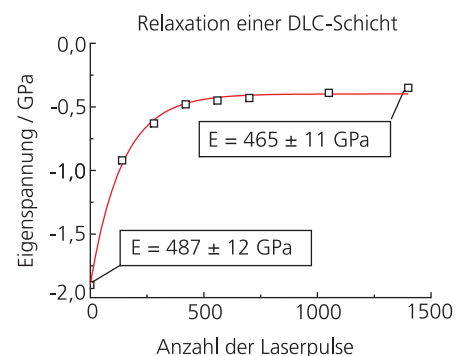


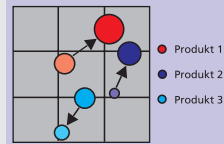
Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Eigenspannung einer DLC-Schicht während der Laserpulsbestrahlung

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Sebastian Lipfert
Tel.: 0351 / 2583 256
sebastian.lipfert@iws.fraunhofer.de

Conference Cent





Angebot: Marketing



Dr. Carsten Krautz
Abteilungsleiter
(Tel. 2583 332,
carsten.krautz@iws.fraunhofer.de)



Dr. Ralf Jäckel
Gruppenleiter Kommunikation
(Tel. 2583 444,
ralf.jaeckel@iws.fraunhofer.de)



Dr. Siegfried Völlmar
Gruppenleiter Medientechnik
(Tel. 2583 434,
siegfried.voellmar@iws.fraunhofer.de)

Externe und interne Kommunikation

Die Aufgaben der Gruppe Kommunikation innerhalb der Abteilung Marketing umfassen insbesondere folgende Bereiche der externen und internen Kommunikation:

- Bearbeitung von Kundenanfragen,
- Messe- und Veranstaltungsorganisation, auch für Partner des IWS,
- Erstellung und Aktualisierung von Printmedien,
- Erstellung und Aktualisierung von elektronischen Medien, auch für unsere Kunden,
- produktspezifisches Marketing,
- Patentrecherchen, die auch den Vertragspartnern des IWS angeboten werden.

Ferner unterstützen die Marketingmitarbeiter die Fachabteilungen bei Entscheidungen in Fragen des strategischen Marketings sowie der nationalen und internationalen Forschungsförderung. Im vergangenen Jahr wurden insbesondere die Aktivitäten im Bereich des produktspezifischen Marketings und des Patentmanagements verstärkt.

Kompetenz-Zentrum Multimedia

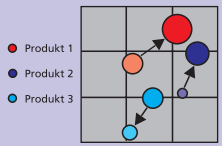
Die Vermittlung der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse des IWS erfordert wegen des komplexen Charakters der technologischen, werkstoffwissenschaftlichen und physikalischen Zusammenhänge häufig den Einsatz aller Möglichkeiten der modernen Kommunikationstechnik. Durch Kombination von Text, Bild, Video und Audio können auch unsichtbare oder sehr schnell ablaufende Vorgänge veranschaulicht werden. Von besonderer Bedeutung ist das bei sicherheitsrelevanten Prozessen.

Folgende Dienstleistungen werden von der Gruppe angeboten:

- Herstellung von Akquisitionsmaterial zu Technologien und Produkten,
- Gestaltung von Präsentationen,
- Photo- und Videoaufnahmen mit modernster digitaler Technik,
- Aufzeichnung wissenschaftlicher Veranstaltungen und Wiedergabe als Live-Präsentation oder interaktiv bedienbare CD-ROM,
- Umsetzung physikalisch-technischer Abläufe in 3D-Simulationen,
- Entwicklungsarbeiten zur Bereitstellung moderner Werkzeuge der »virtual reality« und »augmented reality« für die technologische Forschung,
- Aufbau eines Systems von Weiterbildungsveranstaltungen zur Laser- und Oberflächentechnologie.

Beispiele aus den Arbeiten 2005

- | | |
|---|----|
| 1. Optimierung der Oberflächenreinigung und -beschichtung durch virtuelle Anlagen-simulationen | 80 |
| 2. Generische Realisierung von Laserbearbeitungstechnologien in immersiven Installationen der virtuellen Realität | 81 |



Optimierung der Oberflächenreinigung und -beschichtung durch virtuelle Anlagensimulationen

Aufgabenstellung

Industrielle Verfahren zur Reinigung und Beschichtung von Bauteilen werden überwiegend in Anlagen durchgeführt, die über einen regelbaren Bereich von Parametern zur Prozessführung verfügen. Bei der Produktion kann es zu gegenseitigen Abschattungen von Bauteilen und Anlagenkomponenten sowie Beeinflussungen der Vorgänge durch Eigenabschattung an Hinterschneidungen kommen. Diese komplexen dreidimensionalen Vorgänge werden in vielen Fällen durch die Erfahrung langjährig tätiger Mitarbeiter und kostentreibende Versuchsserien optimiert. Erschwerend kommt hinzu, dass meistens die unmittelbare Beobachtung zum Ablauf der Vorgänge fehlt. Durch die Kombination von mathematischen Simulationen der Prozesse und gleichzeitiger Visualisierung von Anlage und Ergebnissen wird eine objektivierbare Unterstützung der Optimierung der Fertigungsabläufe gefordert. Diese Aufgabe galt es zu lösen.

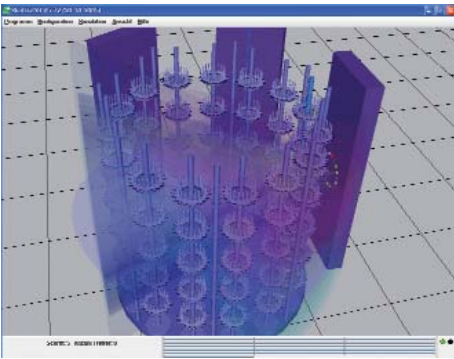


Abb. 1: Simulation einer Beschichtungsanlage vom Planetary-Typ mit verschiedenen Plasmaquellen

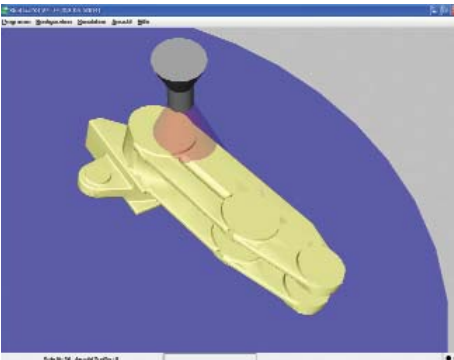


Abb. 2: Simulation eines Reinigungs- oder Beschichtungsprozesses mit frei beweglicher Quelle.

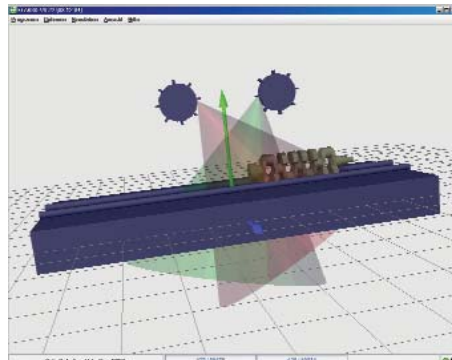


Abb. 3: Schleuderrad-Anlage zur Reinigung von Gußbauteilen

Lösungsweg

Es wurde ein modulares Programmpaket entwickelt, bei dem der Nutzer selbst seine spezielle Anlagenkonfiguration baugruppenartig erstellen, die

Bauteile in gängigen Formaten importieren und in der Anlage platzieren kann. Für eine Reihe von Prozessen aus Beschichtungs- und Reinigungstechnologien stehen Module zur Verfügung, bei denen empirische Erkenntnisse und Simulationswerkzeuge zur phänomenologischen Beschreibung der Prozesse genutzt werden. Das System ist durch den modularen Ansatz beliebig anpassbar. Durch die Konzentration auf herkömmliche Rechentechnik (Büro-PCs) ist es auch für die Verwendung in Klein- und mittelständigen Unternehmen geeignet. Für kompliziertere Szenarien kann die Simulation auch direkt in Installationen der virtuellen Realität erfolgen. In absehbarer Zeit gibt es für diese Technik auch preiswerte Lösungen.

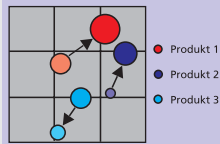
Ergebnisse

Ein Anwendungsfall ist die Simulation der Vakuumbogenbeschichtung in Anlagen mit definierter Bauteilbewegung und zeitgesteuerten Plasmaquellen (Abb. 1 und 2, Programm »SIM-COAT«). Voraussetzung ist die geradlinige Ausbreitung der Plasmateilchen. Im Ergebnis werden Schichtdickenprofile, die Struktur der Nanolayer und Aussagen zum Temperaturregime in der Anlage und in der Beschichtungszone erhalten.

Die Reinigung von Gussteilen in Schleuderrad- oder Hängebahnanlagen (Abb. 3) mit dem Kugelstrahlverfahren erfolgt mit dem im IWS entwickelten Programm »FLAB«. Physikalische Eigenschaften wie Bedeckungsgrad oder auch Spannungsverhältnisse durch die Oberflächenbearbeitung werden in Falschfarbendarstellung dargestellt.

Ansprachpartner

Dr. Siegfried Völlmar
Tel.: 0351 / 2583 434
siegfried.voellmar@iws.fraunhofer.de



Generische Realisierung von Laserbearbeitungstechnologien in immersiven Installationen der virtuellen Realität

Aufgabenstellung

Bei der Umsetzung von Laserbearbeitungstechnologien ist man mit den komplexen dreidimensionalen Szenarien aus Anlagenverhalten, Bauteilspezifität und der Einhaltung der aus dem Werkstoffverhalten abgeleiteten Prozessführung bei extremen Genauigkeitsforderungen konfrontiert. In der Praxis kommt es auf die schnelle Umsetzung aller Forderungen an, die durch eine genaue Visualisierung wesentlich gestützt werden kann. Die Aufgabe besteht in der Bereitstellung einer Entwicklungsumgebung, in welcher die werkstoffseitig vorgegebene Prozessführung und die einzusetzende Anlagentechnik bereits vor der Realisierung simuliert und visualisiert wird.

Lösungsweg

Die Lösung besteht in der Vereinigung eines Visualisierungssystems und eines Programmpakets zur Simulation möglicher Anlagenkonzeptionen.

Die Visualisierung ist sowohl für einen Desktop als auch für VR-Installationen verwendbar und ermöglicht die Interaktion mit den virtuellen Anlagen. Im IWS steht dafür eine VR-Anlage zur Verfügung (Abb. 3). Die dreiseitige CAVE ist mit optischem Tracking zur Interaktion mit dem 3D-Modell, einem Audio-System zur Sprachsteuerung und Einrichtungen für Videokonferenzen ausgestattet. In der Anlage kön-

nen sowohl herkömmliche VRML-Animationen als auch eigene frei programmierbare Simulationen ablaufen.

Das Programmpaket besteht in Werkzeugen zum freien Aufbau von Anlagen beispielsweise aus Konstruktionsunterlagen, aus durch räumliches Scannen erfassten Bauteilen oder modellierten Baugruppen. Mit dem simulierten Aufbau gehen die Festlegungen zu den Bewegungsmöglichkeiten der Baugruppen (Rotationen, Translationen, Endschalter) einher und es wird die Kollisionskontrolle für alle Baugruppen bei der Simulation der Bearbeitungsabläufe vorbereitet. Als zusätzliches Merkmal ist die Modellierung der Strahlführung möglich. Die Bewegung der optischen Elemente ist an die Dynamik der Bearbeitungsanlage gekoppelt.

Durch das Simulationswerkzeug können Arbeitsräume, Zugänglichkeiten, Kollisionsverhalten, Handhabung von Zusatzkomponenten, Strahlformung und Einhaltung der technologischen Vorgaben wie Strahlführung am Bauteil erprobt werden, bevor der Aufbau der Anlage oder der Fertigungstest beginnt.

Ergebnisse

Als Beispiel ist in Abb. 1 das Abbild einer kombinierten Laserstrahl-Härtenanlage und Laserstrahl-Auftragsschweißanlage dargestellt. Die Steuerung der Dynamik kann durch Kopplung mit dem Bahnplanungssystem DCAM5 und einem virtuellen Controller für den Roboter erfolgen.

Als Muster für ein Strahlformungssystem wird in Abbildung 2 die Strahlcharakteristik an der Bauteiloberfläche nach den notwendigen technologischen Umlenkungs- und Fokussierungsschritten dargestellt.

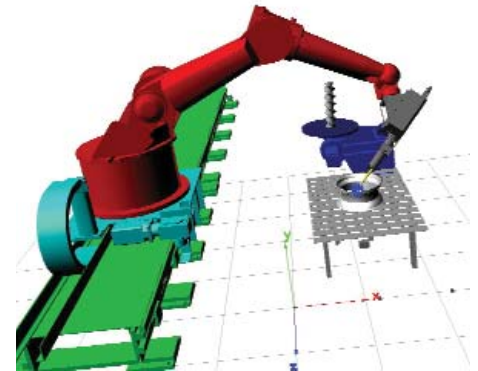


Abb. 1: Visualisierung einer kombinierten Anlage zum Härten und Auftragschweißen mit Diodenlaser

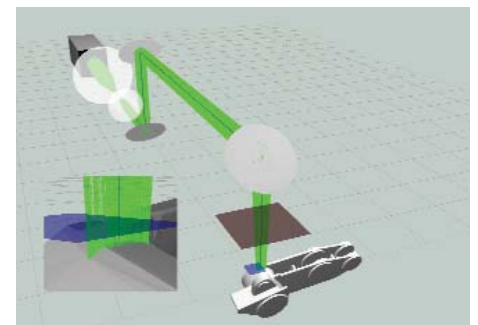


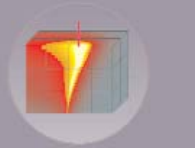
Abb. 2: Dynamisches Strahlführungssystem mit berechnetem Intensitätsverlauf an der Bauteiloberfläche



Abb. 3: VR-Installation zur Visualisierung von Anlagen und Prozessen

Ansprechpartner

Dr. Siegfried Völlmar
Tel.: 0351 / 2583 434
siegfried.voellmar@iws.fraunhofer.de



Forschungs- und Entwicklungsangebot: Simulation und Grundlagen



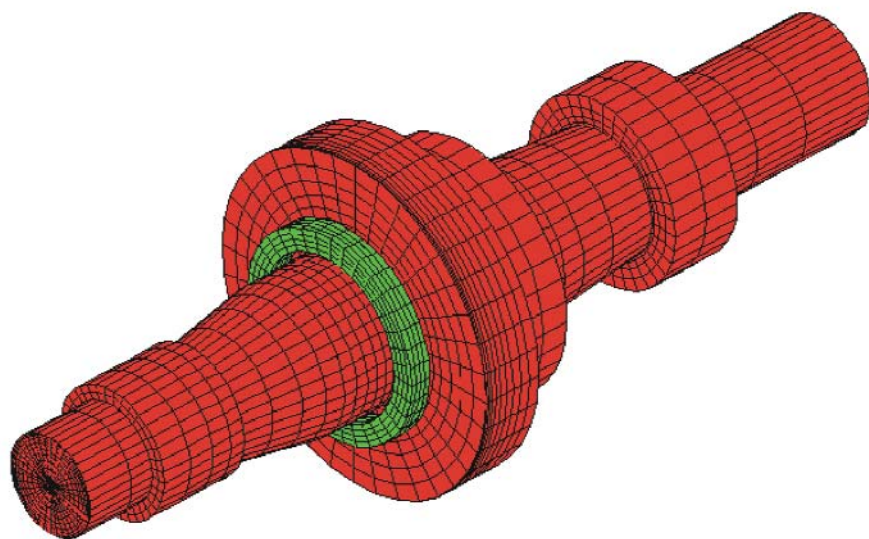
Dr. Adrian Lange
Gruppe Simulation / Grundlagen
(Tel. 2583 328,
adrian.lange@iws.fraunhofer.de)



Dr. Achim Mahrle
Gruppe Simulation / Grundlagen
(Tel. 2583 407,
achim.mahrle@iws.fraunhofer.de)

Prozess-Simulation und Software- entwicklung für die Lasermaterial- bearbeitung

»Probieren geht über Studieren«, sagt der Volksmund, doch bei modernen Hochtechnologien kann Probieren sehr teuer werden. Ein möglichst tiefgehendes Verständnis der in der Prozesszone ablaufenden Vorgänge erleichtert nicht nur die Weiterentwicklung und Optimierung von Verfahren der Lasermaterialbearbeitung und Beschichtung, sondern spart auch Kosten in der Produktionsvorbereitung. Daher gehört im

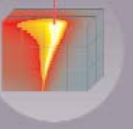


Beispiele aus den Arbeiten 2005

1. Ausbildung thermoelektrischer Ströme in Schmelzbädern 83
2. Berechnung von Eigenspannungen beim Laser-Pulver-Auftragschweißen 84

IWS zur Verfahrensentwicklung und -weiterentwicklung in zunehmendem Maße auch die Prozessmodellierung bis hin zur Entwicklung produktions-tauglicher Software (z. B. Laserhärten, Laser-Pulver-Auftragschweißen).

Modellgestützte Abschätzungen erleichtern oft die Prognose, ob und mit welchen Mitteln konkrete Kundenwünsche erfüllt werden können (Machbarkeitsstudien) und unterstützen die Ermittlung von geeigneten Prozessfenstern. Analytische Approximationen und Modellexperimente gehören ebenfalls zum methodischen Repertoire des IWS. Sie dienen dazu, grundlegende physikalische Prozesse bei der Lasermaterialbearbeitung zu visualisieren und einer detaillierten Analyse zugänglich zu machen; z. B. die Schmelzbadkonvektion und ihre Beeinflussung durch elektromagnetische Felder. Mittels dieser Methoden und in Verknüpfung mit experimentellen Ergebnissen können auch wichtige, aber bisher unbekannte Materialparameter für Bearbeitungsverfahren bestimmt werden, z. B. Absorptionsgrade technischer Oberflächen.



Ausbildung thermoelektrischer Ströme in Schmelzbädern

Aufgabenstellung

Eine Möglichkeit, um beim Laserstrahlschweißen höhere Schweißgeschwindigkeiten und bessere Nahtqualitäten zu erzielen, ist der Einsatz externer statischer Magnetfelder in der Werkstückebene. Bei entsprechenden Schweißexperimenten an Feinkornbaustählen und Aluminiumlegierungen konnte der Schmelzbadauswurf unterdrückt, die Oberrauenqualität verbessert und die Form der Nahtquerschnitte erheblich beeinflusst werden. All diese Phänomene sind aber von der Orientierung des Magnetfeldes abhängig. Zur Erklärung dieser Richtungsabhängigkeit wurde die Existenz von thermoelektrischen Strömen im Schmelzbad postuliert. Im Zusammenspiel mit dem externen Magnetfeld werden Lorentzkräfte im Schmelzbad generiert, die die Ursache der beobachteten Phänomene sind. Es soll einerseits die Frage geklärt werden, ob sich diese Ströme auch theoretisch ableiten und bestimmen lassen. Andererseits ist zu untersuchen, wie diese Ströme bei Anwesenheit von externen Magnetfeldern die Geometrie der Schweißnaht beeinflussen.

Lösungsweg

Die Grundgleichung für die Thermoelektrizität besagt, dass eine thermoelektrische Stromdichte entweder durch einen Gradienten im chemischen Potenzial, in der Temperatur oder durch die Summe beider Gradienten erzeugt werden kann. Bei der Beschränkung auf ein 2-dimensionales Problem (entspricht dem Schweißen dünner Bleche) und auf eine temperaturunabhängige elektrische Leitfähigkeit der Metallschmelze kann mit Hilfe einer Greenschen Funktion die analytische Lösung für die thermoelektrische

Stromdichte angegeben werden.

Wenn das durch den Laserstrahl generierte Temperaturfeld und der temperaturabhängige Seebeck-Koeffizient (Maß für die durch Temperaturunterschiede erzeugbare Spannung) bekannt sind, kann in Abhängigkeit von der Peclet-Zahl (charakterisiert das Verhältnis von konvektivem zu konduktivem Wärmetransport in der Metallschmelze) die Stromdichteverteilung analysiert werden.

Ergebnisse

Abbildung 1a zeigt die Temperaturverteilung [farbig; in blau: Isotherme der Verdampfungstemperatur (innen) und der Schmelztemperatur (außen)] und den Vektor der thermoelektrischen Stromdichte (schwarze Pfeile) für Eisen bei einer Peclet-Zahl von $Pe = 4$. Die homogene Stromdichteverteilung im Schmelzbad, begrenzt durch die zwei Isothermen, ist klar zu erkennen. Die Stromrichtung ist vom Laserfleck zur hinteren Schmelzbadberandung orientiert und bestätigt damit die postulierte Stromdichteverteilung (Abb. 1b). Im Gegensatz dazu zeigen die Rechnungen für Aluminium bei $Pe = 0,1$ (Abb. 2) eine Umkehrung der Stromrichtung im Schmelzbad. Des Weiteren weist die Stromdichte zwei markante Wirbelpaare auf: Ein Paar vor dem Laserfleck, das andere Paar seitlich hinter dem Laserfleck. Für beide Paare ist charakteristisch, dass sie am fest-flüssig-Übergang lokalisiert sind. Dies ist durch den Fakt erklärbar, dass der Seebeck-Koeffizient an der Schmelztemperatur springt, dort also seine drastischste Änderung erfährt. Diese thermoelektrischen Ströme generieren zusammen mit einem äußeren Magnetfeld eine Lorentzkraft, die so gestaltet werden kann, dass die resultierende Strömung zu schmaleren und tieferen Schweißnähten führt.

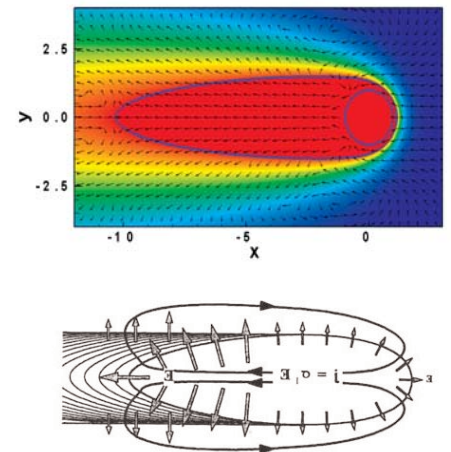


Abb. 1:
a) Temperaturfeld [farbige und blaue Isothermen für Verdampfungs- (innen) und Schmelztemperatur (außen)] und thermoelektrische Stromdichte (schwarze Pfeile) für Eisen bei $Pe = 4$
b) Postulierte Stromdichteverteilung aus Kern et al.: Welding Research 79 (2000) 3 (zum besseren Vergleich mit a) um 180° gedreht)

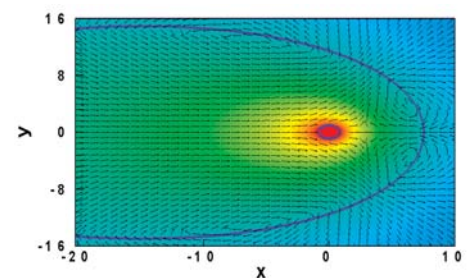


Abb. 2: Temperaturfeld [farbige und blaue Isothermen für Verdampfungs- (innen) und Schmelztemperatur (außen)] und thermoelektrische Stromdichte (schwarze Pfeile) für Aluminium bei $Pe = 0,1$

Ansprechpartner

Dr. Adrian Lange
Tel.: 0351 / 2583 328
adrian.lange@iws.fraunhofer.de



Berechnung von Eigenspannungen beim Laser-Pulver-Auftragschweißen

Aufgabenstellung

Mittels des Laser-Pulver-Auftragschweißens lassen sich harte und temperaturbeständige Funktionsschichten für den Verschleiß- und Korrosionsschutz konturgenau auf Bauteile auftragen. Die bei der Abkühlung des schmelzflüssig aufgetragenen Zusatzwerkstoffs auftretenden Schrumpfspannungen können aber - vor allem bei hochfesten Schichtwerkstoffen - zu Rissbildung und Delamination führen. Martensitbildung im Substrat verstärkt diesen Effekt noch. Das begrenzt die gegenwärtig erreichbaren Schichthärten und Prozessgeschwindigkeiten.

Im Rahmen eines DFG-Projektes wird mit Hilfe der Prozesssimulation und thermomechanischer FEM-Rechnungen nach Varianten der Energiedeposition gesucht, die die beim thermischen Beschichten mittels Laser entstehenden Zugeigenspannungen minimieren.

Lösungsweg

Durch Prozesssimulation mit dem im IWS entwickelten Programm LAVA werden Form und Größe des Schmelzbades und die daraus folgende Schweißraupengeometrie ermittelt. Die Ergebnisse dienen als Eingangsdaten für thermomechanische Rechnungen mit dem kommerziellen FEM-Programm SYSWELD.

Berechnet wird die prozessbedingte Eigenspannungsverteilung in der Schweißraupe und ihrer Umgebung in Abhängigkeit von Parametern wie Vorschubgeschwindigkeit und Schweißraupengröße. Außerdem werden Prozessvarianten mit zusätzlichen Energiequellen (Laser, Induktor) zum Vor- oder Nachwärmen untersucht.

Ergebnisse

Erste Rechnungen wurden für die Beschichtung eines Baustahls mit Stellite 21 durchgeführt. Sie zeigen Zugeigenspannungen in der Schweißraupe, denen Druckeigenspannungen im Substrat das Gleichgewicht halten. Martensitbildung im Substrat verstärkt diese Druckspannungen und aus Gleichgewichtsgründen auch die Zugspannungen in der Schicht.

Durch Vorwärmen können die Schrumpfspannungen reduziert und die Abkühlgeschwindigkeit verkleinert werden, wodurch sich auch die Martensitbildung unterdrücken lässt. Dabei hat das lokale Vorwärmen mit einem in den Prozess integrierten Induktor technologische Vorteile. Durch systematische Modellrechnungen wird gegenwärtig nach optimalen Vorwärmparametern gesucht (Vorwärmleistung bzw. -temperatur, Induktorgröße und -position, Vorschubgeschwindigkeit usw.).

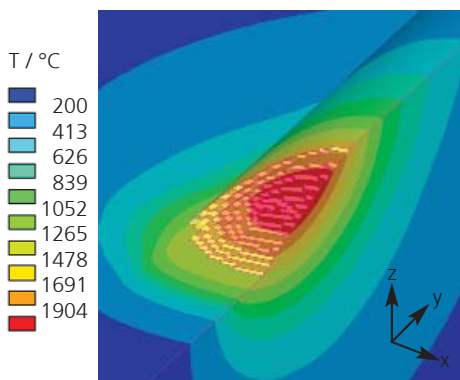


Abb. 1: Temperaturverteilung in der Prozesszone beim Anlegen einer Schweißraupe beim Laser-Pulver-Auftragschweißen

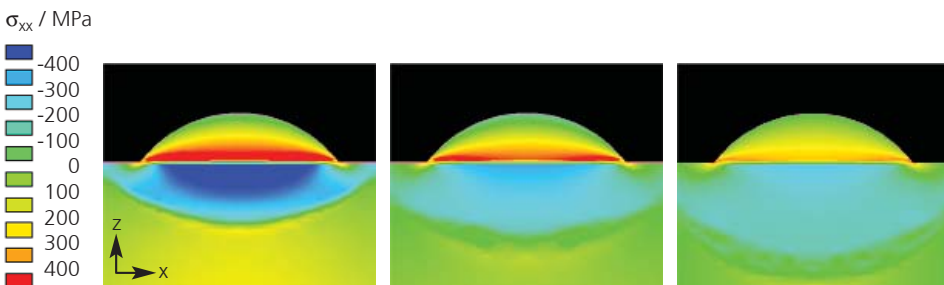


Abb. 2: Querspannungsverteilung $\sigma_{xx}(x, y)$ in einer Schweißraupe
 a) ohne Vorwärmen,
 b) lokales Vorwärmen durch mitgeführten Induktor (maximale Vorwärmtemperatur: 800 °C),
 c) komplettes Vorwärmen des gesamten Bauteils auf 500 °C

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Frank Brückner
 Tel.: 0351 / 2583 452
 frank.brueckner@iws.fraunhofer.de



Diplomarbeiten

- H. Behrends
(Technische Universität Dresden)
»Entwicklung einer virtuellen Laserbearbeitungsanlage«
- T. Birkeneder
(Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences)
»Untersuchungen zum Laserstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen im T-Stoß für luftfahrtspezifische Strukturen mit Festkörperlasern«
- R. Böhme
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))
»Laservorbehandlung faserverstärkter Kunststoffe vor dem Kleben«
- W. Böhme
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))
»Konzeption, Fertigung und Erprobung einer Schmelz- und Dosiereinheit für Schweißzusatzwerkstoffe«
- K. Bretschneider
(Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Dresden (BA))
»Prototypische Umsetzung einer modularen Schnittstellenplattform für realistische Robotersimulationen von Lasermaterialbearbeitungstechnologien in CAM Systemen und virtuellen Welten«
- C. Eydam
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))
»Konzeption, Fertigung und Erprobung einer Gießvorrichtung zum Vordeponieren von Schweißzusatzwerkstoffen aus Aluminiumlegierungen«
- H.-G. Hänig
(Technische Universität Dresden)
»Usability Untersuchung von Werkzeugen für 3D-Objekte bei VR-Anwendungen«

- M. Hantke
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))
»Konzeption und Konstruktion einer Prüfvorrichtung für getriebebauplastische Laserstrahlschweißverbindungen«
- F. Heinrich
(Technische Universität Dresden)
»Implementierung einer Kollisionskontrolle in die Bahnplanungssoftware für eine Laserauftragsschweißanlage zur Reparatur von Turbinenschaufeln«
- S. John
(Fachhochschule Koblenz (FH))
»Konzeption, Aufbau und Inbetriebnahme eines Laser-Scanner-Systems zur Mikrostrukturierung mittels direkt-schreibendem Verfahren und KrF-Excimerlaser«
- S. Kühn
(Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences)
»Konstruktion eines Bewegungssystems für den simultanen Einsatz von zwei Hochleistungsdiodenlasern«
- J. Landgraf
(Technische Universität Dresden)
»Untersuchungen zum Laserstrahlschweißen der Werkstoffpaarung GTS45 / 16MnCr5 für Getriebeteile«
- S. Lipfert
(Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences)
»Untersuchungen zur Haftfestigkeit von DLC-Schichten bei der Innenbeschichtung mittels Laserpulsabscheidung«
- L. Matulia
(Politecnico di Torino, Italien)
»Generieren hoch-karbidhaltiger Bauteile durch Auftragschweißen«
- S. Müller
(Technische Universität Dresden)
»Untersuchung des Rissausbreitungsverhaltens an laserstrahlgeschweißten Stumpfstoßverbindungen der Aluminium-Luftfahrtlegierung 6013«

- M. Norenz
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))
»Qualifizierung von Systemen zur Prozessüberwachung für das Laserstrahl-Präzisionsauftragschweißen«
- M. Piske
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))
»Strukturanalytische Charakterisierung von Lasermikrobohrungen«
- D. Römer
(Technische Universität Dresden)
»Methoden zur Usability-Evaluation von 3D-Benutzungsschnittstellen«
- S. Saaro
(TU Bergakademie Freiberg)
»Charakterisierung von Oxidschichten auf thermisch gespritzten (HVOF) Hartmetallbeschichtungen«
- K. Sanselzon
(Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH))
»Laserinduktionsschweißen von Getriebebauteilen aus aufhärtungsempfindlichen Stählen«
- S. Sturm
(Technische Universität Dresden)
»Umformeingenschaften laserinduktionssgeschweißter hochfester Feinbleche«
- ## Dissertationen
- T. Himmer
(Technische Universität Dresden)
»Werkzeugfertigung durch Fügen von Metallblechen«
- H. Wust
(Technische Universität Dresden)
»Die Wirkung von Laserstrahlung auf strukturelle, chemische und physikalische Eigenschaften von Holz«
- R. Zieris
(Technische Universität Dresden)
»Laserunterstütztes atmosphärisches Plasmaspritzen«



Vorlesungen

Vorlesungen am Institut für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik der TU Dresden im

Wintersemester 2004 / 2005:

- Prof. Beyer: Fertigungstechnik II (Oberflächen- und Schichttechnik)
- Prof. Schultrich: Dünnschichttechnologie (Sonderwerkstoffe)
- Dr. Leson, Prof. Beyer: Oberflächen-technik / Nanotechnologie
- Prof. Beyer: Rapid Protocoating

Vorlesung am Institut für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik der TU Dresden im

Sommersemester 2005:

- Prof. Beyer: Lasergrundlagen / Lasersystemtechnik
- Prof. Beyer: Praktikum Lasersicherheits- und Laserverfahrenstechnik

Vorlesungen am Institut für Oberflächentechnik und Fertigungsmesstechnik der TU Dresden im

Wintersemester 2005 / 2006:

- Prof. Beyer: Plasmen in der Fertigungstechnik (Mechatronik)
- Prof. Schultrich: Dünnschichttechnologie (Sonderwerkstoffe)
- Dr. Leson, Prof. Beyer: Oberflächen-technik / Nanotechnologie
- Prof. Beyer / Hr. Kötter: Rapid Protocoating
- Prof. Beyer: Robotik

Vorlesung an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden:

- Dr. Nowotny: Lasermaterialbearbeitung

Mitarbeit in Gremien

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Präsidiums der Fraunhofer-Gesellschaft

Prof. E. Beyer:

Sprecher des Fraunhofer-Verbundes Oberflächentechnik und Photonik

Prof. E. Beyer:

Direktor des Institutes für Oberflächen-technik und Fertigungsmesstechnik IOF der TU Dresden

Prof. E. Beyer:

Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft »Ingenieurwissenschaften« sowie Vize-Präsident der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Lasertechnik WLT e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Materialforschungsverbundes Dresden e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied der Sachsenberg-Gesellschaft e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Bundesverbandes mittelständische Wirtschaft e.V.

Prof. E. Beyer:

Kurator der Palucca Schule Dresden - Hochschule für Tanz

Prof. E. Beyer:

Mitglied der Europäischen Forschungsgesellschaft »Dünne Schichten« e.V.

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Kompetenzzentrums »Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen / Thüringen e.V.«

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Universitären Zentrums für Luft- und Raumfahrt (UZLR) der TU Dresden

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Advisory Board des European Laser Institute (ELI)

Prof. E. Beyer:

Mitglied des Board of Directors des Laser Institute of America

Prof. E. Beyer:

Mitglied der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA)

Prof. E. Beyer:

Mitglied des International Advisory Board des Journal of Laser Applications (JLA)

Prof. B. Brenner:

Fachauschuß 9 der AWT »Randschichtbehandlung und Kurzzeitaustenitisierung«

Prof. B. Brenner:

Mitglied Gutachterausschuss der AiF

Dr. I. Jansen:

Mitglied der Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA), Fachsektion Klebtechnik

Dr. I. Jansen:

Mitglied des Industriearbeitskreises »Intlaskleb« des BMBF

Dr. R. Jäckel:

Arbeitskreis »Messe- und Öffentlichkeitsarbeit« des Materialforschungsverbundes Dresden e.V.

Dr. G. Kirchhoff:

Arbeitsausschuss »Schallemissionsanalyse« der DGzFP

A. Kluge:

Sprecher der Rechnerbetreiber in der Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. A. Leson:

Member of the International Expert Panel for the Nanomat-Program of Norway

Dr. A. Leson:

Sprecher des Nanotechnologie-Kompetenzzentrums »Ultradünne funktionale Schichten«



Dr. A. Leson:
Kuratoriumsmitglied der Zeitschrift
»Vakuum in Forschung und Praxis«

Dr. A. Leson:
Mitglied des Arbeitskreises Zukunftstechnologien der Stadt Dresden

Dr. A. Leson:
Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats des Vereins Deutscher Ingenieure

Dr. A. Leson:
Vorsitzender des VDI-Kompetenzfeldes Nanotechnik

Dr. A. Leson:
Mitglied im Programmausschuss des wissenschaftlichen Beirats des VDI

Dr. A. Leson:
Mitglied des International Advisory Board der Zeitschrift »Micromaterials and Nanomaterials«

Dr. A. Leson:
Vorstandsmitglied des European Center for Micro- and Nanoreliability e.V.

Dr. A. Leson, Dr. H.-J. Scheibe,
Prof. B. Schultrich;
Arbeitskreis Plasmaoberflächentechnologie

Dr. S. Nowotny:
DVS-Arbeitsgruppe V9.2 / AA 15.2
»Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren«

Dr. S. Nowotny:
Gemeinschaft Thermisches Spritzen (GTS) e.V.

Prof. B. Schultrich:
Vorstandsmitglied der Europäischen Forschungsgesellschaft »Dünne Schichten« e.V.

Dr. A. Techel, Dr. S. Nowotny:
VDI-Arbeitsgruppe »Rapid Prototyping« im VDI-Bezirksverein Dresden

Dr. B. Winderlich:
Arbeitsgruppe »Festigkeit und Konstruktion« des DVS-BV Dresden

Preise des IWS 2005

1. Beste innovative Produktidee

E. López, M. Rosina
»Einführung kontinuierlicher Atmosphärendruck-Plasma-Verfahren in die Solarzellenproduktion«

Dr. S. Bonß, J. Hannweber,
U. Karsunke, M. Seifert
»Integrierte Härterei«

2. Beste wissenschaftlich-technische Leistung

F. Kretzschmar
»Online Prozesskontrolle für das Legierungsschweißen von Mischverbindungen Gusseisen-Einsatzstahl im Bereich Powertrain«

3. Beste wissenschaftliche Leistung eines Nachwuchswissenschaftlers

H. Beese
»Überwachung kritischer Spurengase in Prozess- und Spezialgasen mittels Diodenlaser-Spektroskopie«

4. Beste wissenschaftlich studentische Leistung

S. Lipfert
»Verbesserung der Haftfestigkeit superharter amorpher Kohlenstoffschichten auf Innenflächen«

S. Saaro
»Charakterisierung von Oxidschichten auf thermisch gespritzten (HVOF) Hartmetallbeschichtungen«

5. Sonderpreise / außerordentlicher Dank

M. Schwach
»Für seine besonderen Leistungen bei einer umfassenden Schadensanalyse und dem damit verbundenen Image-Gewinn für das IWS«

I. Dani

»Für ihre herausragenden Leistungen bei Organisation, Ausbau und Leitung einer Arbeitsgruppe am IWS«

U. Klotzbach

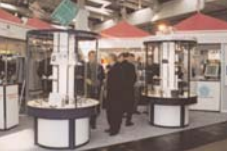
»Für seine herausragende Leistung als Geschäftsführer des VOP und den gleichzeitigen sehr erfolgreichen Ausbau seiner Arbeitsgruppe Mikrobearbeiten / Reinigen«



Für ihre herausragenden Leistungen bei Organisation, Ausbau und Leitung einer Arbeitsgruppe am IWS erhielt Frau Dr. Dani einen Sonderpreis



Dr. S. Bonß, J. Hannweber und U. Karsunke bei der Verleihung des Institutspreises für die beste innovative Produktidee



Besondere Ereignisse

02. Februar 2005

Jahrestagung des Nanotechnologie-Kompetenzzentrums »Ultradünne funktionale Schichten« im Fraunhofer IWS

01. Juli 2005

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

14. Juli 2005

Besuch der Bundesforschungsministerin Bulmahn im Dortmunder OberflächenCentrum der ThyssenKrupp Stahl AG

21. September 2005

Workshop »BioMeT vor Ort« im Fraunhofer IWS Dresden

03. Oktober 2005

Sächsisch-Britisches Nanotechnologieforum in London (Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

22. November 2005

1. Internationaler Fraunhofer-Workshop »Faserlaser«

23. - 24. November 2005

»Workshop on Laser Applications in Europe« im Fraunhofer IWS Dresden

28. November 2005

»NanoCareer-Forum - where Education meets Business« im Fraunhofer IWS Dresden

28. November 2005

»German-Canadian Round Table on Nanotechnology« im Fraunhofer IWS Dresden

29. - 30. November 2005

4. Internationales Nanotechnologie-Symposium »Nanofair - Neue Ideen für die Industrie« in Dresden (Mitorganisator: Fraunhofer IWS Dresden)

30. November 2005

7. Fachsymposium Oberflächentechnik im Dortmunder OberflächenCentrum der ThyssenKrupp Stahl AG

01. Dezember 2005

4th Ukrainian-German Seminar »Nanosciences and Nanotechnology« im Fraunhofer IWS Dresden



Bundesforschungsministerin Bulmahn im Dortmunder OberflächenCentrum der ThyssenKrupp Stahl AG (14. Juli 2005)



Besichtigung der »Langen Nacht der Wissenschaften« durch die Sächsische Wissenschaftsministerin Barbara Ludwig (1. Juli 2005)



Blick ins Foyer des Fraunhofer IWS zur »Langen Nacht der Wissenschaften« (1. Juli 2005)



Messebeteiligungen

Hannover-Messe Industrie 2005, 11. - 15. April 2005

Im Rahmen des VDI-Gemeinschaftsstandes »SurfPlaNet« präsentierte das IWS auf einer 40 m² großen Fläche in der Halle 6 neueste Ergebnisse angewandter Forschung auf dem Gebiet der Oberflächentechnik. Gezeigt wurden diamantähnliche Kohlenstoffschichten Diamor® für Zerspanungs- und Umformwerkzeuge, modulare Pulverdüsen zum Laser-Auftragschweißen und der erreichte Stand beim thermischen Spritzen. Hauptanziehungspunkt war der Roboter, der neben dem Laser-Auftragschweißen (mit dem im IWS entwickelten Pulverdüsen-System) auch zum Laserhärten genutzt werden kann. Diese Doppelfunktion konnte in diesem Jahr erstmals bei einem Kunden in die Produktion überführt werden.

Neben dieser IWS-Präsentation zeigte das Nanotechnologie-Kompetenzzentrum »Ultradünne funktionale Schichten«, welches vom IWS koordiniert wird, Anwendungen und Produkte der Nanotechnologie, die von den Mitgliedern des Zentrums zur Verfügung gestellt wurden.

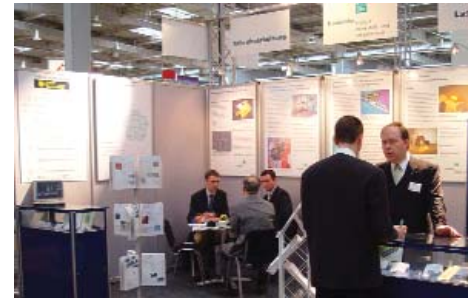
Im Rahmen des Gemeinschaftsstandes »Laser Technology« präsentierte das IWS in Halle 15 - Micro Technology - auf einer 15 m² großen Fläche neueste Ergebnisse angewandter Forschung auf dem Gebiet der Lasermaterial- und Mikrobearbeitung.

Außerdem beteiligten sich das Fraunhofer IWS und der Lehrstuhl für Laser- und Oberflächentechnik der TU Dresden am Gemeinschaftsstand »Forschung für die Zukunft« in Halle 2. Dort wurden die erreichten Ergebnisse in der Klebflächenvorbehandlung und beim Kleben gezeigt.

Die Richtigkeit der Entscheidung, die Präsentationen des IWS auf der Hannover-Messe 2005 zu erweitern, wurde durch ca. 145 relevante Kundenkontakte bestätigt.

Rapid.Tech 2005 Erfurt, 31. Mai - 01. Juni 2005

Erstmals beteiligte sich das IWS an dieser Anwendertagung und Fachausstellung für Rapid-Technologien. Zentrales Objekt des Standes war die kombinierte Gieß-Frä-Anlage pcPro® für ein hochgenaues Rapid-Prototyping von Gussteilen. Durch die Integration des Gießverfahrens in eine Fräsmaschine ist die Fertigung einer Werkzeughälfte und unmittelbar im Anschluss die Komplettbearbeitung des Bauteiles in einer Aufspannung möglich. Der hohe Automatisierungsgrad ermöglicht eine erhebliche Produktivitätssteigerung bei hoher Flexibilität und Bauteilqualität. Anwendungspotenzial für die neue Verfahrenskombination wird in allen Bereichen gesehen, wo Kunststoffteile zum Einsatz kommen.



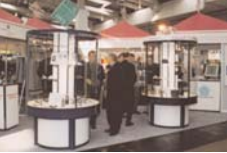
Präsentation des Fraunhofer IWS auf dem Gemeinschaftsstand »Laser Technology« auf der Hannover-Messe 2005, Halle 15



Präsentation der Fügestellenvorbehandlung auf dem Gemeinschaftsstand »Forschungsländ Sachsen« auf der Hannover-Messe 2005, Halle 2



Präsentation des Fraunhofer IWS auf dem Gemeinschaftsstand »SurfPlaNet« auf der Hannover-Messe 2005, Halle 6

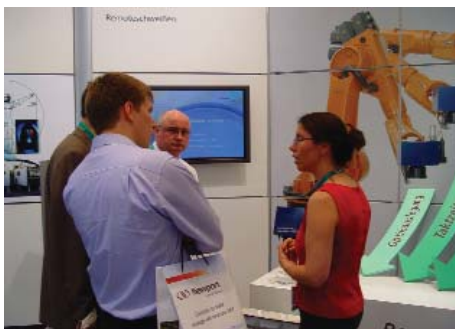


Laser-Messe 2005 München, 13. - 16. Juni 2005

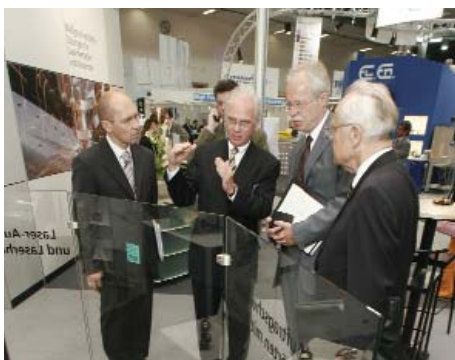
Zusammen mit drei weiteren Fraunhofer-Instituten präsentierte sich das IWS in Halle B3 auf dem 230 m² großen Fraunhofer-Gemeinschaftsstand, der auch vom IWS koordiniert wurde. »Maßgeschneiderte Lösungen für Laserhersteller und Anwender« war das Leitthema des Standes. Gezeigt wurden neueste Technologieentwicklungen auf dem Gebiet des Remoteschweißens mit YAG-Lasern und auf dem Gebiet des Laser-Pulver-Auftragschweißens. Die Inszenierung einer Strahlablenkoptik zeigte in Bild und Ton klar die IWS-Kompetenzen: Optikauslegung, Taktzeitoptimierung und Qualitätssicherung.



Vortragsprogramm auf dem Innovationsforum der Messe Schweißen & Schneiden 2005



Präsentation der Strahlablenkoptik zum Remoteschweißen mit YAG-Lasern auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand zur Laser-Messe 2005



Besuch des Staatssekretärs im BMBF, Prof. Dr. Meyer-Kramer auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand zur Laser-Messe

Messe Parts2clean 2005 Essen, 18. - 20. Oktober 2005

Das IWS präsentierte auf dieser Messe eine Lösung zur partiellen Reinigung von Bauteilen mittels Laserstrahlen. Die besonderen Merkmale sind die Integration des Reinigungsschrittes in die automatisierte Fertigung, die Realisierung kurzer Taktzeiten, die Möglichkeit der Reinigung der für den Folgearbeitsschritt notwendigen Funktionsflächen an Bauteilen im vormontierten Zustand sowie der Verzicht auf Lösemittel bzw. anderweitige Reinigungsmedien. Das Verfahren wurde am Beispiel der Abreinigung von z. B. Kühl- und Schmierstoffresten sowie Konservierungsmitteln im Bereich der Fügstellen vor dem Laserstrahlschweißen vorgestellt.

Messe Euromold 2005 Frankfurt / M., 30. November - 03. Dezember 2005

An der Branchenmesse zum Formen-, Modell- und Werkzeugbau sowie zur Gießereitechnik beteiligte sich das IWS bereits zum zehnten Mal. Es wurden Ergebnisse aus dem Projekt »MELATO« vorgestellt, welches das Ziel verfolgt, eine neue Prozesskette zur schnellen Fertigung von komplex geformten Werkzeugen von bis zu 1,5 m Kantenlänge zu entwickeln. Die gezeigten Präge- und Umformwerkzeuge wurden nach dem Prinzip des LOM-Verfahrens (Laminated Object Manufacturing) hergestellt. Außerdem wurden Exponate zum 3D-Laser-Auftragschweißen gezeigt, welches zur Reparatur von Werkzeugen und zum Verschleißschutz eingesetzt werden kann. Es konnten viele neue Kontakte zu Anwendern aufgebaut werden.

Zugleich war das IWS auf dem Stand von Lambda Physik / Coherent mit der Präsentation einer Mikrostrukturierungsanlage mit frequenzverdreifachtem, diodengepumptem Nd:YAG-Laser vertreten.

Insgesamt wurde der Trend bestätigt, dass die Lasermesse zu einer Messe geworden ist, wo die Pflege bestehender Kontakte im Vordergrund steht.

Schweißen & Schneiden 2005 Essen, 12. - 17. September 2005

Am Innovationsforum der Forschungsvereinigung »Schweißen und Verwandte Verfahren e.V.« des DVS beteiligte sich erstmals auch das Fraunhofer IWS Dresden. Am Innovationsforum zeigten 31 Forschungsinstitute aktuelle Ergebnisse und zukünftige Trends aus der fügetechnischen Gemeinschaftsforschung.

Das IWS zeigte insbesondere Exponate zum Laserstrahlschweißen von großformatigen 3D-Strukturen für die Flugzeugindustrie und zum Laserinduktionsschweißen von Getriebebauteilen für die Automobilindustrie.

Patentanmeldungen

- [P1]** E. Beyer, S. Nowotny, J. Steinwandel, J. Höschele, A. Ohnesorge
»Integrierte Prozesskontrolle beim Laser-Pulver-Auftragschweißen mittels Koaxialdüse«
 Anmelde-Az.: 10 2005 027 260.6
- [P2]** [M. Heintze, R. Möller, H. Wanka, E. Lopez, V. Hopfe, I. Dani, M. Rosina
»Verfahren zur Entfernung einer dotierten Oberflächenschicht an Rückseiten von kristallinen Silizium-Wafern«
 Anmelde-Az.: 10 2005 040 596.7
- [P3]** A. Klotzbach, V. Fleischer, L. Morgenthal
»Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahlung«
 Anmelde-Az.: 10 2005 002 670.2
- [P4]** F. Kretzschmar, M. Leminski, L. Morgenthal, T. Schwarz, S. Thalheim
»Element und Verfahren zur Justierung eines Arbeitslaserstrahls«
 Anmelde-Az.: 10 2005 012 556.5
- [P5]** L. Morgenthal, T. Schwarz, E. Pfeiffer
»Verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken mittels Laserstrahlung«
 Anmelde-Az.: 10 2005 027 836.1
- [P6]** O. Zimmer, M. Schwach, B. Schultrich, C.-F. Meyer
»Anordnung und Verfahren zur Herstellung von Partikeln«
 Anmelde-Az.: 10 2005 029 155.4

Patenterteilungen

- [P7]** S. Braun, H. Mai
»Methode zur Auswahl der Schichtdicken eines reflektierenden Elements für elektromagnetische Strahlung im extremen ultravioletten Bereich«
 Veröffentlichungs-Nr.: EP 1 351 258 B1
- [P8]** B. Brenner, V. Fux
»Process for producing wear-resistant surface layers«
 Veröffentlichungs-Nr.: US 6,843,866 B2
- [P9]** B. Brenner, B. Winderlich, J. Standfuß, J. Schumacher, H. Brenneis, W. Zink
»Leichtbau-Strukturbauteil insbesondere für Flugzeuge und Verfahren zu seiner Herstellung«
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 103 01 445 B4
- [P10]** A. Hartmann, F. Kretzschmar, A. Klotzbach, L. Morgenthal, D. Pollack, T. Schwarz
»Verfahren und Vorrichtung zur Laserbearbeitung von Werkstücken«
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 199 63 010 B4
- [P11]** G. Mäder, W. Grähler, V. Hopfe, H. Beese, E. Hofmüller,
»Verfahren und Vorrichtung zur Untersuchung von Gasen oder Gasgemischen mittels Laserdiodespektroskopie«
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 103 60 111 B3
- [P12]** T. Holz
»Röntgenoptische Anordnung«
 Veröffentlichungs-Nr.: EP 1 323 170 B1
- [P13]** T. Holz
»Vorrichtung zur Röntgenfluoreszenzanalyse«
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 199 32 275 B4
- [P14]** A. Lenk
»Verfahren und Vorrichtung zur regelbaren Veränderung der Punktgröße bei der Laser-Innengravur«
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 199 25 801 B4

- [P15]** A. Lenk, G. Wiedemann
»Verfahren zum Trennen / Schneiden von Bauteilen, Werkstücken und / oder Probekörpern beliebiger Dicke, Größe und weiterer Abmessungen aus Beton, Werkstein und anderen mineralischen Baustoffen mit wirtschaftlich vertretbaren Trennungsgeschwindigkeiten«
 Veröffentlichungs-Nr.: DE199 22 169 B4
- [P16]** S. Nowotny, K. Tangermann, R. Meier
»Beschichtungsverfahren für Bauteile aus Magnesiumlegierungen«
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 199 59 378 B4
- [P17]** S. Rochler, M. Taschenberger, S. Siegel
»Verfahren zur Bestimmung des Vorhandenseins von anorganischen, organischen oder Oxidschichten auf metallischen Substraten oder der Messung von Oberflächentemperaturen von Kunststoffsubstraten«
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 199 49 977 B4
- [P18]** C. Wallenhauer
»Schaltungsanordnung zur Reduzierung von Messfehlern analoger pulsförmiger Messsignale eines Detektors«
 Veröffentlichungs-Nr.: DE 10 2004 004 260 B3

Marken

- [P19]** »IRspec XL«
 EU-Gemeinschaftsmarke
 Eintragung-Nr.: 003 705 266

- [L01]** L.-M. Berger, S. Saaro, M. Woydt
»Comparative Study of Self-Mated HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings Under High Temperature Dry Sliding Conditions«
 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition - PM 2005 (2005) S. 299-304
- [L02]** L.-M. Berger, S. Saaro, R. Zieris, M. Woydt
»Oxidation und ungeschmierter Hochtemperatur-Gleitverschleiß von thermisch gespritzten Hartmetallschichten«
 6. Industriefachtagung »Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik« (OWT '05) und 8. Werkstofftechnisches Kolloquium (WTK) (2005) S. 207-216
- [L03]** L.-M. Berger, M. Woydt, R. Zieris
»Comparative Study of HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings under High Temperature Dry Sliding Conditions«
 Powder Metallurgical High Performance Materials (2005) S. 878-892
- [L04]** L.-M. Berger, R. Zieris, S. Saaro
»Oxidation of HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings«
 Thermal Spray Solutions - ITSC 2005 (2005)
- [L05]** J. Berthold, B. Schultrich
»Amorpher Kohlenstoff als UltrabARRIERE für OLED's«
 Dünne und ultradünne Schichten mit Barrierefunktion (2005) S. 1-6
- [L06]** E. Beyer, I. Jansen, H. Wust
»Laser in der Klebtechnik«
 Kleben - Swiss Bonding 2005 (2005) S. 3-14
- [L07]** S. Beyer, D. Klemm, M. Bobeth, W. Pompe, O. Trommer, P. Gawlitza
»Improvement of the Adherence of Thermal Barrier Coatings for Rocket Combustion Chambers«
 Advanced Engineering Materials 7 (2005) 1-2, S. 54-58
- [L08]** G. Blasek, B. Schultrich
»Potenzial der Vakuum- und Plasmaverfahren für die dekorative Kunststoffbearbeitung«
 Beschichtung und Modifizierung von Kunststoffoberflächen - 13. NDVak (2005)
- [L09]** S. Bonß,
»Laserstrahlhärten im Großwerkzeugbau«
 Photonik 37 (2005) 6, S. 18
- [L10]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer
»Integrierte Härterei - Laserstrahlhärten im Großwerkzeugbau«
 6. Industriefachtagung »Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik« (OWT '05) und 8. Werkstofftechnisches Kolloquium (WTK) (2005) in press
- [L11]** S. Bonß, M. Seifert, J. Hannweber, U. Karsunke, E. Beyer
»Low Cost Camera Based Sensor System for Advanced Laser Heat Treatment Processes«
 ICALEO 2005 - Laser Materials Processing (2005) S. 851-855
- [L12]** H.-H. Böttcher, O. Rieder, H. Planck, F. Kretzschmar, D. Pollack, L. Morgenthal
»Laserstrahlschweißen von Textilien - Möglichkeiten und Grenzen«
 Melliand Textilberichte 86 (2005) 9, S. 632-633
- [L13]** S. Braun
»EUV Microscope Far Below 1 Micron«
 NanoS - The Nanotech Journal (2005) 2, S. 15
- [L14]** S. Braun, R. Dietsch
»Herstellung und Anwendung von Multischicht-Röntgenoptiken«
 Dresdner Transferbrief 13 (2005) 2, S. 14
- [L15]** S. Braun, T. Foltyn, L. van Loyen, A. Leson, K. Walter, K. Bergmann, W. Neff
»Multilayer Optics Development for EUV Microscopy«
 Nanofair 2005 (VDI-Bericht 1920) (2005) S. 255
- [L16]** S. Braun, A. Leson
»Röntgenoptiken für die Elektronik und Analytik«
 Nanotechnologie in der industriellen Anwendung (2005)
- [L17]** B. Brenner, J. Standfuß, L. Morgenthal, E. Beyer
»New Applications with Laser Hybrid Processes and Remote Welding«
 The Laser Tool: State of the Art and Trends - ExpoLaser Fair 2005 (2005) in press
- [L18]** R. Delmdahl, F. Sonntag
»Rapid Prototyping with Excimer Laser and UV-Scanner«
 Lasers in Manufacturing 2005 (2005) S. 853
- [L19]** R. Dietsch, T. Holz, S. Braun, T. Leisegang, D. Meyer
»Analytische Anwendungen röntgenoptischer Systeme«
 Nanofair 2005 (VDI-Bericht 1920) (2005) S. 85-89
- [L20]** T. Foltyn, S. Braun, L. van Loyen, A. Leson
»Preparation and Characterization of Multilayers for EUV Applications«
 Advances in Optical Thin Films II (Proc. of the SPIE 5963) (2005) S. 639-648
- [L21]** R. Franke, B. Brenner, C. Ulbricht, W. Zink
»Zur Bewertung des Festigkeits- und Schadenstoleranzverhaltens laserstrahlgeschweißter Rumpfstrukturen«
 Festigkeit gefügter Bauteile (DVS-Bericht 236) (2005) S. 89-94
- [L22]** R. Gnann, A. Techel, E. Willenborg
»Laserapplikationen im Werkzeugbau - Entwicklung und industrielle Anwendung«
 8. 3D-Erfahrungsforum Innovation Werkzeug- und Formenbau (2005) S. 9.1-9.9
- [L23]** R. Grimme, M. Krieg, J. Hauptmann
»Lokale Reinigung von Funktionsflächen. Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen«
 mo metalloberfläche 59 (2005) 11, S. 35-37

- [L24]** R. Hässler, I. Jansen
»Thermische und mechanische Untersuchungen an Epoxidharz-Aluminium Verbunden«
 19th International Symposium Swiss Bonding 2005 (2005) P11
- [L25]** T. Himmer, A. Techel, S. Nowotny, E. Beyer
»Recent Developments in Metal Laminated Tooling«
 ICALCO 2005 - Laser Materials Processing (2005) S. 304-309
- [L26]** A. Jahn, B. Winderlich, B. Brenner, A. Zwick, R. Imhoff, S. Trümper
»Laser Hybrid Welding of Fatigue Loaded Structural Components Made of Quenched and Tempered HSLR Steel S1100QL«
 58th IIW Annual Assembly and International Conference (2005) IIW-Doc. No. IV-886-05
- [L27]** I. Jansen, H. Wust, E. Beyer
»Haftung optimieren. Laserstrahlung verbessert die Alterungsbeständigkeit von Klebverbindungen«
 mo metalloberfläche 59 (2005) 7-8, S. 34-35
- [L28]** I. Jansen, H. Wust, R. Böhme
»Vorbehandlung von faserverstärkten Kunststoffen mit Nd:YAG-Laserstrahlung«
 19th International Symposium Swiss Bonding 2005 (2005) P15
- [L29]** R. Jäckel
»Ultradünne funktionale Schichten - Kompetenznetzwerke in Dresden«
 OpenSource (2005) 10-11, S. 31
- [L30]** J. Kaspar, A. Luft, J. Bretschneider, S. Jacob, S. Bonß, B. Winderlich, B. Brenner, E. Beyer
»Laser Nitriding: A Promising Way to Improve the Cavitation Erosion Resistance of Ti-6Al-4V«
 Lasers in Manufacturing 2005 (2005) S. 393-398
- [L31]** J. Kaspar, A. Luft, S. Nolte, M. Will
»STEM and TEM Characterization of Micro-Holes Produced in Steel by Helical Drilling with Laser Pulses in the ns to fs Range«
 Lasers in Manufacturing 2005 (2005) S. 763-768
- [L32]** G. Kirchhoff, L. Brummer
»Prüfstand für Thermoschock- und Temperaturwechselfestigkeit«
 Photonik 37 (2005) 5, S. 17
- [L33]** A. Klotzbach, V. Fleischer, L. Morgenthal, E. Beyer
»Sensor Guided Remote Welding System for YAG - Laser Applications«
 Lasers in Manufacturing 2005 (2005) S. 17-19
- [L34]** U. Klotzbach, T. Kuntze, M. Panzner, F. Sonntag, G. Spiecker, E. Beyer
»Excimerlaser und Mikrospiegelarrays als flexible hochdynamische Einheit - Ablenkungsmanöver für Laserstrahlen«
 Mikroproduktion (2005) 3, S. 38-40
- [L35]** R. Lenk, A. Nagy, H.-J. Richter, A. Techel
»Werkstoffkonzepte für das Lasersintern von SiC«
 Fortschrittberichte der DKG 19 (2005) 1
- [L36]** D. Lepski, M. Beck, A. Mahrle, F. Brückner, E. Beyer
»Prozessmodelle in der Lasermaterialbearbeitung«
 23rd CADFEM User's Meeting (2005) in press
- [L37]** A. Leson
»Grußwort: Nanotechnologie in Dresden - Aufbruch in eine neue Dimension«
 Dresdner Transferbrief 13 (2005) 2, S. 3
- [L38]** A. Leson
»Nanotechnologie: Die industrielle Bedeutung wächst«
 Konstruktion 57 (2005) 7-8, IW2 (S.40)
- [L39]** A. Leson
»There is Plenty of Room at the Bottom«
 Vakuum in Forschung und Praxis 17 (2005) 3, S. 123
- [L40]** A. Leson
»Nanotechnologie - Anwendungen und Perspektiven für den Automobilbau«
 Micromaterials and Nanomaterials (2005) 4, S. 12
- [L41]** A. Leson
»Superhard Amorphous Carbon Coatings«
 Saxon-German-Nanotechnology Forum (2005)
- [L42]** A. Leson
»Nanotechnology - Applications and Perspectives for the Automotive Industry«
 International Automotive Conference - IAC 2005 (2005) in press
- [L43]** A. Leson, T. Geßner
»Dresden / Chemnitz - A Great Place for Small Things«
 MST-News (2005) S. 42
- [L44]** L. van Loyen, T. Böttger, S. Schädlich, S. Braun, T. Foltyn, A. Leson, F. Scholze, S. Müllender
»Laboratory LPP EUV Reflectometer Working with Non-Polarized Radiation«
 Applied Surface Science 252 (2005) 1, S. 57-60
- [L45]** S. Martens, V. Weihnacht, L-M. Berger
»Oil-Free Powertrain: Ceramic Coatings«
 Triboscience and Tribotechnology - COST 532 (2005) S. 111-121
- [L46]** P. Mottner, G. Wiedemann, G. Haber, W. Conrad, A. Gervais
»Laser Cleaning of Metal Surface - Laboratory Investigations«
 Lasers in the Conservation of Artworks - LACONA V (2005) S. 79-86
- [L47]** S. Nowotny
»Gepanzert: Oberflächen hart im Nehmen. Modulares Pulverdüsensystem zum Auftragsschweißen mit Lasertechnik«
 mo metalloberfläche 59 (2005) 5, S. 22-23

- [L48]** S. Nowotny
»Laserstrahl-Auftragschweißen in der Triebwerkinstandsetzung«
Photonik 37 (2005) 3, S. 16
- [L49]** S. Nowonty
»Robotersystem zum Präzisionsauftrag-schweißen mit Diodenlasern«
Photonik 37 (2005) 4, S. 13
- [L50]** S. Nowotny
»Rapid Repairing: An Efficient Manu-facturing Concept for Reconditioning of Worn Components and Tools«
High-Tech Solutions and Best-Practice Concepts (2005) S. A6/1
- [L51]** S. Nowonty
»Turbinenreparatur per Laserauftrag-schweißen«
Schweizer Maschinenmarkt 106 (2005) 13, S. 98
- [L52]** S. Nowotny
»COAXn: Modulares Pulverdüsensystem zum Auftragschweißen mit Lasertechnik«
Laser Magazin (2005) 4, S. 22-23
- [L53]** S. Nowotny, S. Orban, K.-H. Richter
»Laser Beam Cladding in Controlled Atmosphere«
Lasers in Manufacturing 2005 (2005) S. 337-338
- [L54]** S. Nowonty, S. Scharek, F. Kempe
»Laser System Technology for Precise Repairing of Moulds and Tools«
Applicazioni Laser (2005) 6-7, S. 44-46
- [L55]** S. Nowotny, S. Scharek, F. Kempe, A. Schmidt, E. Beyer
»Technological Solutions for Industrial Applications of Laser Beam Cladding«
Lasers in Manufacturing 2005 (2005) S. 825
- [L56]** E. Pfeiffer
»3D-Präzisionsbearbeitung mittels Hoch-geschwindigkeits-Laserschneiden«
Photonik 37 (2005) 3, S. 16
- [L57]** O. Rieder, H. Planck, L. Morgenthal
»Diodenlasersystem im Einsatz beim Thermofixieren textiler Flächen aus Chemiefasern«
Melliand Textilberichte 86 (2005) 9, S. 638
- [L58]** T. Sander, J. U. Schmidt, H. Schenk, H. Lakner, S. Braun, T. Foltyn, A. Leson
»Highly Reflective Thin-Film Coatings for High-Power Applications of Microme-chanical Scanning Mirrors in the NIR-VIS Spectral Region«
Advances in Optical Thin Films II (Proc. of the SPIE 5963) (2005) S. 327-338
- [L59]** T. Sander, J. U. Schmidt, H. Schenk, H. Lakner, S. Braun, T. Foltyn, A. Leson, A. Gatto, M. Yang, N. Kaiser
»Micromechanical Scanning Mirrors with Highly Reflective NIR Coatings for High Power Applications«
MEOMS Display and Imaging Systems III (Proc. of the SPIE 5721) (2005) S. 34-42
- [L60]** T. Sander, J. U. Schmidt, H. Schenk, H. Lakner, A. Gatto, M. Yang, N. Kaiser, S. Braun, T. Foltyn, A. Leson
»Highly Reflective Coatings for Micro-mechanical Mirror Arrays Operating in the DUV and VUV Spectral Range«
MEOMS Display and Imaging Systems III (Proc. of the SPIE 5721) (2005) S. 72-80
- [L61]** P. Schaaf, M. Shinn, E. Carpena, J. Kaspar
»Direct Laser Synthesis of Functional Coatings«
Lasers in Manufacturing 2005 (2005) S. 399-406
- [L62]** H.-J. Scheibe, T. Schülke, M. Becker, M. Leonhardt, E. Beyer, C.-F. Meyer, B. Schultrich, H. Schulz, V. Weihnacht
»Industrial Batch Coater with Integrated Laser-Arco® Technology«
The Finishing Line 21 (2005) 2, S. 1-18
- [L63]** D. Schneider
»Laserakustische Prüfung von Schichten und Werkstoffoberflächen«
Laser in der Elektronikproduktion & Feinwerktechnik - LEF 2005 (2005) S. 203-211
- [L64]** D. Schneider, T. Schwarz, B. Schultrich
»Mechanische Prüfung von dünnen Schichten mit der laserakustischen Prüf-methode Lawave«
Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Dünnschichtindustrie (2005) S. 1-9
- [L65]** B. Schultrich
»Superharte Beschichtungen für tribolo-gische Beanspruchung«
JOT - Journal für Oberflächentechnik 45 (2005) 4, S. 76-78
- [L66]** H. Schulz, M. Leonhardt, H.-J. Scheibe, B. Schultrich
»Ultra Hydrophobic Wetting Behaviour of Amorphous Carbon Films«
Surface and Coatings Technology 200 (2005) 1-4, S. 1123-1126
- [L67]** H. Stiele, S. Bonß
»Integration des Laserstrahlhärtens in den Großwerkzeugbau«
Elektrowärme International 63 (2005) 3, S. 122-125
- [L68]** T. Stucky, U. Baier, C.-F. Meyer, H.-J. Scheibe, B. Schultrich
»Large Area Deposition of Superhard Carbon Films«
Vakuum in Forschung und Praxis 17 (2005) S1, S. 20-25
- [L69]** A. Techel
»Kunststoffprototypen mit Fräs-ge-nauigkeit - pcp[®]«
Rtejournal - Forum für Rapid Techno-logie (2005) 2, S. 1-5
- [L70]** A. Techel
»MELATO[®] - Metal Laminated Tooling«
(2005) Fraunhofer IRB-Verlag
- [L71]** A. Techel, S. Nowotny
»Oberflächenbehandlung von Leichtme-tallen durch Laserauftragschweißen«
Galvanotechnik 96 (2005) 6, S. 1377-1386
- [L72]** J. Tuominen, J. Latokartano, J. Vihinen, P. Vuoristo, T. Mäntylä, T. Naumann, S. Scharek, L.-M. Berger, S. Nowotny
»Deposition of Thick Wear and Corrosi-on Resistant Coatings by High Power Diode Laser«
Lasers in Manufacturing 2005 (2005) S. 447-449

- [L73]** V. Weihnacht, B. Schultrich
»Superharte Kohlenstoffschichten für Automobilkomponenten«
 Funktionelle Oberflächen für den Automobilbau (2005)
- [L74]** G. Wiedemann, K. Püschner, H. Wust, A. Kempe
»The Capability of the Laser Application for Selective Cleaning and the Removal of Different Layers on Wooden Artworks«
 Lasers in the Conservation of Artworks - LACONA V (2005) S. 179-190
- [L75]** H. Wust, U. Schwarz, K. Rehm
»Schmalfächenbeschichtung - alle Probleme gelöst?«
 Die Holzbearbeitung - HOB 52 (2005) 5, S. 148-149
- [L76]** R. Zieris, L.-M. Berger, I. Schulz, S. Martens, R. Enzl
»Investigation of Ceramic and Hard-metal Coatings in an Oscillating Sliding Wear Test«
 Thermal Spray Solutions - ITSC 2005 (2005)
- [L77]** O. Zimmer
»Vacuum Arc Deposition by Using a Venetian Blind Particle Filter«
 Surface and Coatings Technology 200 (2005) 1-4, S. 440-443
- [L78]** O. Zimmer, B. Schultrich, T. Stucky, I. Endler, R. Schober, J. Vetter
»Beschichtung von Formwerkzeugen - Chancen oder Kostenfaktor?«
 Beschichtete Werkzeuge - höhere Wirtschaftlichkeit in der Ur- und Umformtechnik (2005)
- [L79]** P. Zinin, S. Berezina, D. Schneider, D. Fei, D. A. Rebinsky, M. H. Manghnani, S. Tkachev
»Brillouin Scattering and Laser-SAW Technique for Elastic Property Characterization of Diamond-Like Carbon (DLC) Films«
 Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation 760 (2005) 1, S. 1182-1188

- [T01]** L.-M. Berger
»Hartmetallschichten - eine praxisorientierte Beschreibung der Werkstoffe«
 International Thermal Spray Conference & Exposition - ITSC 2005, Basel (CH) 02.-04. Mai 2005
- [T02]** L.-M. Berger
»Correlation between Oxidation and Tribological Properties of Thermally Sprayed Hardmetal Coatings«
 COST 532 Meeting, Prag (CZ) 17. Februar 2005
- [T03]** L.-M. Berger, S. Saaro, M. Woydt
»Comparative Study of Self-Mated HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings Under High Temperature Dry Sliding Conditions«
 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition - Euro PM, 2005 Prag (CZ) 02.-05. Oktober 2005
- [T04]** L.-M. Berger, S. Saaro, R. Zieris, M. Woydt
»Oxidation und ungeschmierter Hochtemperatur-Gleitverschleiß von thermisch gespritzten Hartmetallschichten«
 6. Industriefachtagung »Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik« (OWT '05) und 8. Werkstofftechnisches Kolloquium (WTK), Chemnitz (D) 29.-30. September 2005
- [T05]** L.-M. Berger, M. Woydt, R. Zieris
»Comparative Study of HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings under High Temperature Dry Sliding Conditions«
 16. International Plansee Seminar, Reutte/Tirol (A) 30. Mai - 03. Juni 2005
- [T06]** L.-M. Berger, R. Zieris, S. Saaro
»Oxidation of HVOF-Sprayed Hardmetal Coatings«
 International Thermal Spray Conference & Exposition - ITSC 2005, Basel (CH) 02.-04. Mai 2005
- [T07]** J. Berthold, B. Schultrich
»Ultradichte Kohlenstoffschichten als Barriere für Kunststoffolien«
 EFDS-Workshop »Dünne und ultradünne Schichten mit Barrierefunktion«, Wörlitz (D) 03. Juni. 2005
- [T08]** E. Beyer
»Der CO₂-Laser«
 Neueste Entwicklungen der industriellen Lasertechnik Wolfsburg, (D) 20. Oktober 2005
- [T09]** E. Beyer
»Fiber lasers of the new generation«
 1. Workshop »Faserlaser«, Dresden (D) 22. November 2005
- [T10]** E. Beyer, I. Jansen, H. Wust
»Laser in der Klebtechnik«
 19. International Symposium Swiss Bonding 2005, Rapperswil (CH) 23.-25. Mai 2005
- [T11]** G. Blasek, B. Schultrich
»Potenzial der Vakuum- und Plasmaverfahren für die dekorative Kunststoffbearbeitung«
 13. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium - NDVaK, Dresden (D) 13.-14. Oktober 2005
- [T12]** S. Bonß
»Integrierte Härterei - Laserstrahlhärten im Großwerkzeugbau«
 61. Kolloquium für Wärmebehandlung und Werkstofftechnik, Fertigungs- und Verfahrenstechnik, Wiesbaden (D) 05.-07. Oktober 2005
- [T13]** S. Bonß, J. Hannweber, U. Karsunke, M. Seifert, B. Brenner, E. Beyer
»Integrierte Härterei - Laserstrahlhärten im Großwerkzeugbau«
 6. Industriefachtagung »Oberflächen- und Wärmebehandlungstechnik« (OWT '05) und 8. Werkstofftechnisches Kolloquium (WTK), Chemnitz (D) 29.-30. September 2005
- [T14]** S. Bonß, M. Seifert, J. Hannweber, U. Karsunke, E. Beyer
»Low Cost Camera Based Sensor System for Advanced Laser Heat Treatment Processes«
 24th International Congress on ICALEO 2005, Miami (USA) 31. Oktober - 03. November 2005
- [T15]** S. Braun
»Nanostructures for Non-Volatile Memories«
 1st Workshop »Synthesis and Analysis of Nanomaterials and Nanostructured«, Wroclaw (PL) 21.-22. November 2005
- [T16]** S. Braun, A. Leson
»Röntgenoptiken für die Elektronik und Analytik«
 Nanotechnologie in der industriellen Anwendung, Regensburg (D) 26.-27. November 2005
- [T17]** S. Braun, T. Foltyn, W. Friedrich, A. Leson, R. Dietsch, D. Weißbach
»Nanometer Multilayers as Monochromators for the X-Ray Fluorescence«
 54th Annual Conference on Applications of X-Ray Analysis - The Denver X-Ray Conference, Colorado Springs (USA) 01.-05. August 2005
- [T18]** S. Braun, T. Foltyn, W. Friedrich, M. Menzel, A. Leson, F. Schäfers
»Improved Nanometer Multilayers for X-Ray Fluorescence Analysis«
 Optical Systems Design 2005 - Advances in Optical Thin Films II, Jena (D) 12.-16. September 2005
- [T19]** S. Braun, R. Dietsch, T. Foltyn, M. Menzel, A. Leson
»Multilayer Monochromators for X-Ray Spectrometry«
 PRORA 2005: Prozessnahe Röntgenanalytik, Berlin (D) 24.-25. November 2005
- [T20]** B. Brenner, G. Göbel, D. Dittrich, R. Schedewy, J. Standfuß
»New results in the fiber laser welding of light metal and steel materials«
 1st International Fraunhofer Workshop on Fibre Lasers, Dresden (D) 22. November 2005
- [T21]** B. Brenner, A. Jahn, B. Winderlich, J. Standfuß
»Neuere Entwicklungen zum Laserstrahlschweißen höherfester Feinbleche«
 Fügen-Intensiv-Konferenz »Das Fügen zukünftiger Leichtbaukonzepte«, Bad-Nauheim (D) 07.-09. März 2005
- [T22]** B. Brenner, J. Standfuß, L. Morgenthal, E. Beyer
»New Applications with Laser Hybrid Processes and Remote Welding«
 ExpoLaser Conference »The Laser Tool: State of the Art and Trends«, Piacenza (I) 17.-19. November 2005
- [T23]** I. Dani
»Atmosphärendruck-Mikrowellen-PECVD zur Abscheidung von SiO₂-Schichten«
 XII. Erfahrungsaustausch »Oberflächentechnologie mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen«, Mühlleithen (D) 15.-17. März 2005

- [T24]** R. Delmdahl, F. Sonntag
»Rapid Prototyping with Excimer Laser and UVScanner«
 3rd International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, München (D) 13.-16. Juni 2005
- [T25]** R. Dietsch, T. Holz, S. Braun, T. Leisegang, D. Meyer
»Analytische Anwendungen röntgenoptischer Systeme«
 Nanofair 2005: New Ideas for Industry, Dresden (D) 29.-30. November 2005
- [T26]** R. Dietsch, S. Braun, T. Foltyn, P. Gawlitza, T. Holz, A. Leson, M. Menzel, D. Weißbach
»Design and Application of Multilayer X-Ray Optics for X-Ray Analysis«
 AXAA 2005 Conference & Exhibition, Perth (AUS) 14.-18. Februar 2005
- [T27]** R. Franke, B. Brenner, C. Ulbricht, W. Zink
»Zur Bewertung des Festigkeits- und Schadenstoleranzverhaltens laserstrahlgeschweißter Rumpfstrukturen«
 Festigkeit gefügter Bauteile, Braunschweig (D) 01.-02. Juni 2005
- [T28]** P. Gawlitza
»Laserplasmen zur Abscheidung spannungsarmer Schichten auf Innenflächen«
 XII. Erfahrungsaustausch »Oberflächentechnologie mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen«, Klingenthal-Mühlleithen (D) 16.-18. März 2005
- [T29]** W. Grählert
»In-situ Gasanalytik mittels Laserspektroskopie«
 14. Treffen des »Arbeitskreises Aus-rüstungen, Materialien und Dienstleistungen für die Halbleitertechnologie Dresden« gemeinsam mit dem »Arbeitskreis Equipment von Silicon Saxony«, Dresden (D) 15. März 2005
- [T30]** T. Himmer
»Recent Developments in Metal Laminated Tooling«
 24th International Congress on ICALCO 2005, Miami (USA) 31. Oktober - 03. November 2005
- [T31]** V. Hopfe
»Atmospheric Pressure Plasma CVD and Plasma Chemical Etching for High Throughput Processing«
 International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films - ICMCTF 2005, San Diego (USA) 02.-06. Mai 2005
- [T32]** V. Hopfe, E. Lopez, M. Rosina, I. Dani, H. Wanke, M. Heintze, R. Möller
»Trockenätzen von Solarwafern mit Atmosphärendruck-Plasma - Gasphasenchemie und Oberflächenstruktur«
 Freiburger Siliciumtage, Freiberg (D) 15.-17. Juni 2005
- [T33]** M. Jäger, M. Rabenau, R. Poll, F. Sonntag
»Perfusion Chamber for Cell Tests with Micro Patterned Surface«
 14th International Conference of Medical Physics (ICMP 2005) & 39th Annual Conference of the German Society for Biomedical Engineering (BMT 2005), Nürnberg (D) 14.-18. November 2005
- [T34]** A. Jahn, B. Winderlich, B. Brenner, A. Zwick, R. Imhoff, S. Trümper
»Laser Hybrid Welding of Fatigue Loaded Structural Components Made of Quenched and Tempered HSLR Steel S1100QL«
 58th IIW Annual Assembly and International Conference, Prag (CZ) 10.-15. Juni 2005
- [T35]** I. Jansen
»Plasmavorbereitung von Magnesiumlegierungen«
 Seminar bei PlasmaTreat, Steinhagen (D) 24. Februar 2005
- [T36]** I. Jansen
»Elektrisch leitfähiges Kleben«
 Seminar bei EPCOS, Deutschlandsberg (A) 10. März 2005
- [T37]** I. Jansen
»Klebtechnik - Fügeiteilvorbereitung mit Plasma- und Lasertechnologien«
 Kolloquium am Fraunhofer IZFP Dresden, Dresden (D) 15. September 2005
- [T38]** I. Jansen
»Dauerhafte Klebverbindungen durch Oberflächenbehandlung mit Plasma- und Lasertechnologien«
 5. Dresdner Materialforschungstag, Dresden (D) 11. November 2005
- [T39]** J. Kaspar, J. Bretschneider, S. Bonß, B. Winderlich, B. Brenner, E. Beyer
»Laser Nitriding: A Promising Way to Improve the Cavitation Erosion Resistance of Components Made of Titanium Alloys«
 3rd International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, München (D) 13.-16. Juni 2005
- [T40]** J. Kaspar, A. Luft, E. Beyer
»Helical Drilling of Metals and Silicon with ns to fs Pulses: A microscopic Approach«
 3rd International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, München (D) 13.-16. Juni 2005
- [T41]** D. Klaffke, B. Schultrich, V. Weihnacht
»Einfluss von Umgebungsmedien und Gegenkörperwerkstoff auf das tribologische Verhalten dünner ta-C-Schichten«
 Tribologie-Fachtagung, Göttingen (D) 26.-28. September 2005
- [T42]** A. Klotzbach, V. Fleischer, L. Morgenthal, E. Beyer
»Sensor Guided Remote Welding System for YAG - Laser Applications«
 3rd International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, München (D) 13.-16. Juni 2005
- [T43]** A. Kunze, F. Sonntag, M. Rabenau, R. Poll
»Perfusion Chambers for Cell Tests with Micro Patterned Surface«
 14th International Conference of Medical Physics (ICMP 2005) & 39th Annual Conference of the German Society for Biomedical Engineering (BMT 2005), Nürnberg (D) 14.-18. November 2005
- [T44]** A. Lange, E. Beyer
»Conditions for the Formation of Thermoelectric Currents in Laser Melted Pools«
 18th Meeting on Mathematical Modelling of Materials Processing with Lasers, Igls/Innsbruck (A) 19.-21. Januar 2005
- [T45]** A. Lange, E. Beyer
»Formation of Thermoelectric Currents in Weld Pools«
 Conference on Lasers and Electro-Optics / Europe 2005, München (D) 12.-17. Juni 2005
- [T46]** R. Lenk, A. Nagy, H.-J. Richter, A. Techel
»Werkstoffkonzepte für das Lasersintern von SiC«
 Rapid Prototyping - Verfahren und Anwendung in der Keramik, Erlangen (D) 29.-30. November 2005
- [T47]** D. Lepski, M. Beck, A. Mahrle, F. Brückner, E. Beyer
»Prozessmodelle in der Lasermaterialbearbeitung«
 23rd CAD/FEM User's Meeting, Bonn (D) 09.-11. November 2005

- [T48]** A. Leson
»Entwicklungsschwerpunkte in der Nanoelektronik«
 Trendqualifikationen Nanotechnologie, Halle (D) 16. Februar 2005
- [T49]** A. Leson
»Nanotechnologie - Vision oder Realität«
 120. Öffentliche Sitzung der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft ISIS Dresden e.V., Dresden (D) 17. März 2005
- [T50]** A. Leson
»Nanotechnologie - Zukunftschancen oder Fiktion«
 96. MNU-Kongress, Kiel (D) 20.-24. März 2005
- [T51]** A. Leson
»Nanotechnologie - Anwendungen und Perspektiven für den Automobilbau«
 2. Fachkongress MicroCar 2005, Leipzig (D) 21.-22. Juni 2005
- [T52]** A. Leson
»Nanometerschichten für den Automobilbau«
 Workshop Nanomaterialien: Der »unsichtbare« Nutzen, Bayreuth (D) 29. Juni 2005
- [T53]** A. Leson
»Superhard Amorphous Carbon Coatings«
 Saxon-German-Nanotechnology-Forum, London (GB) 03. Oktober 2005
- [T54]** A. Leson
»Nanotechnologie - Perspektiven und aktuelle Anwendungen«
 Nanoworkshop 2005, Braunschweig (D) 03. November 2005
- [T55]** A. Leson
»Nanotechnology - Applications and Perspectives for the Automotive Industry«
 8th International Automotive Conference - ICA, Sunderland (GB) 05.-06. Oktober 2005
- [T56]** A. Leson
»Superhard Amorphous Carbon Coatings Applications and Perspectives for the Automotive Industry«
 Sächsische Delegationsreise nach Japan, Seminar »Highlights of Automotive Technology in Germany«, Tokio (Japan) 21. Oktober 2005
- [T57]** A. Leson
»Superhard Amorphous Carbon Coatings Applications and Perspectives for the Automotive Industry«
 Sächsische Delegationsreise nach Japan, Seminar »Highlights of Automotive Technology in Germany«, Nagoya (Japan) 24. Oktober 2005
- [T58]** A. Leson
»Superhard Amorphous Carbon Coatings«
 Sächsische Delegationsreise nach Japan, Seminar »Highlights of German Technological Development in Nanotechnology« Kyoto, (Japan) 26. Oktober 2005
- [T59]** A. Leson
»Entwicklungsstand der Nanotechnologie - Anwendungsgebiete, Visionen, Risiken«
 Nanotechnologie in Sachsen - Potenziale - Chancen - Visionen, Dresden (D) 08. November 2005
- [T60]** A. Mahrle, E. Beyer
»Transient Behaviour of Laser Induced Axisymmetric Melt Pools«
 18th Meeting on Mathematical Modelling of Materials Processing with Lasers, Igls/Innsbruck (A) 19.-21. Januar 2005
- [T61]** S. Martens, V. Weihnacht, L.-M. Berger
»Ceramic Coatings«
 Triboscience and Tribotechnology, Superior Friction and Wear Control in Engines and Transmissions - COST 532, Porto (Portugal) 18.-19. Oktober 2005
- [T62]** E. Marx, W. Grählert
»Insitu FTIR-Spectroscopy for Process Optimization and FDC at Infineon Technology«
 Workshop »Advanced Process Control for Future Oriented Manufacturing«, Dresden (D) 22.-23. September 2005
- [T63]** S. Nowotny
»Rapid Repairing: An Efficient Manufacturing Concept for Reconditioning of Worn Components and Tools«
 International User's Conference on Rapid Prototyping & Rapid Tooling & Rapid Manufacturing - Euro-u Rapid 2005, Leipzig (D) 10.-12. Mai 2005
- [T64]** S. Nowotny
»Precision laser build-up welding using fiber lasers«
 1. Workshop »Faserlaser«, Dresden (D) 22. November 2005
- [T65]** S. Nowotny
»Schnelle Designänderungen und Reparaturen von Werkzeugen durch direkten Metallauftrag mit Laserstrahlung«
 Workshop »Laseranwendungen für intelligente Werkzeugtechnik«, Dresden (D) 23. November 2005
- [T66]** S. Nowotny, T. Naumann, S. Orban, K.-H. Richter
»Laser Beam Cladding in Controlled Atmosphere«
 3rd International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, München (D) 13.-16. Juni 2005
- [T67]** S. Nowotny, T. Naumann, S. Scharek, F. Kempe, A. Schmidt, E. Beyer
»Technological Solutions for Industrial Applications of Laser Beam Cladding«
 3rd International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, München (D) 13.-16. Juni 2005
- [T68]** T. Sander, J. U. Schmidt, H. Schenk, H. Lakner, S. Braun, T. Foltyn, A. Leson
»Highly Reflective Thin-Film Coatings for High-Power Applications of Micromechanical Scanning Mirrors in the NIR-VIS Spectral Region«
 Optical Systems Design 2005 - Advances in Optical Thin Films II, Jena (D) 12.-16. September 2005
- [T69]** T. Sander, J. U. Schmidt, H. Schenk, H. Lakner, S. Braun, T. Foltyn, A. Leson, A. Gatto, M. Yang, N. Kaiser
»Micromechanical Scanning Mirrors with Highly Reflective NIR Coatings for High Power Applications«
 Photonics West 2005: MEOMS, MEMS, Micro and Nanofabrication - MEOMS Display and Imaging Systems III, San Jose (USA) 22.-27. Januar 2005

- [T70]** T. Sander, J. U. Schmidt, H. Schenk, H. Lakner, A. Gatto, M. Yang, N. Kaiser, S. Braun, T. Foltyn, A. Leson
»Highly Reflective Coatings for Micro-mechanical Mirror Arrays Operating in the DUV and VUV Spectral Range«
 Photonics West 2005: MEOMS, MEMS, Micro and Nanofabrication - MEOMS Display and Imaging Systems III, San Jose (USA) 22.-27. Januar 2005
- [T71]** H.-J. Scheibe, M. Leonhardt, T. Schülke
»Deposition Technology, Tribological Properties and Applications of Superhard Amorphous (ta-c) Carbon Films«
 Functional Coatings and Surface Engineering - FCSE, Montréal (CAN) 05.-09. Juni 2005
- [T72]** H.-J. Scheibe, M. Leonhardt, T. Schülke, C.-F. Meyer, H. Schulz, B. Schultrich, E. Beyer
»Laser-Arc Process and Technology for Deposition of Amorphous and Nanostructured Carbon Films«
 8th International Conference on Applications of Diamond and Related Materials and 1st NanoCarbon Joint Conference, Chicago (USA) 15.-19. Mai 2005
- [T73]** H.-J. Scheibe, T. Schülke, M. Becker, M. Leonhardt, E. Beyer, C.-F. Meyer, B. Schultrich, H. Schulz, V. Weihnacht
»Laser-Arc-Module System for Industrial Series Deposition of Super Hard Coatings«
 International Conference on Metallurgical Coating and Thin Films - ICMCTF 2005, San Diego (USA) 02.-06. Mai 2005
- [T74]** B. Schultrich
»Nanostructured ceramic and carbon films for wear protection«
 NATO-OVT Specialists Meeting AVT-122 »Nanomaterials technology for military vehicle structural applications«, Granada 03.-04. Oktober. 2005,
- [T75]** B. Schultrich, V. Weihnacht
»Superharte amorphe Kohlenstoffschichten (ta-C) für Zerspanungs- und Umformwerkzeuge«
 Tribologie-Fachtagung, Göttingen, (D) 26.-28. September 2005
- [T76]** B. Schultrich, W. Grählert
»Von der nanostrukturellen Probenanalyse zur Bauteilprüfung«
 5. Dresdner Materialforschungstag, Dresden (D) 11. November 2005
- [T77]** U. Schwarz, M. Oertel, H. Wust
»Schmalflächenbeschichtung im Brennpunkt des Lasers«
 2. Innovationsforum Holz, Lichtenstein (D) Dezember 2005
- [T78]** F. Sonntag, R. Poll, U. Klotzbach, M. Rabenau
»Technological Plattform for Cell Micro Array Based Biochips«
 14th International Conference of Medical Physics (ICMP 2005) & 39th Annual Conference of the German Society for Biomedical Engineering (BMT 2005), Nürnberg (D) 14.-18. November 2005
- [T79]** J. Standfuß, B. Brenner
»Laser Induction Welding - From Basic Research to Industrial Applications«
 International Forum on Project Development, Bologna (I) 28. Februar - 01. März 2005
- [T80]** J. Standfuß, B. Brenner, A. Jahn, D. Dittrich
»Laserstrahlgeschweißte Leichtbaustrukturen aus Stahl und Aluminium«
 16. Weltmesse Schweißen und Schneiden, Essen (D) 12.-17. September 2005
- [T81]** A. Techel
»Kunststoffprototypen mit Fräsgenauigkeit - pcpro®«
 RapidTech 2005, Erfurt (D) 31. Mai - 01. Juni 2005
- [T82]** A. Techel
»Neue Hard- und Softwarelösungen für das roboterbasierte Laserhärten und Auftragschweißen«
 EuroMold 2005, Frankfurt/Main (D) 30. November - 03. Dezember 2005
- [T83]** A. Techel
»Metal Laminated Tooling im Großwerkzeugbau«
 EuroMold 2005, Frankfurt/Main (D) 30. November - 03. Dezember 2005
- [T84]** J. Tuominen, J. Latokartano, J. Vihinen, P. Vuoristo, T. Mäntylä, T. Naumann, S. Scharek, L.-M. Berger, S. Nowotny
»Deposition of Thick Wear and Corrosion Resistant Coatings by High Power Diode Laser«
 3rd International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, München (D) 13.-16. Juni 2005
- [T85]** J. Tuominen, P. Vuoristo, T. Mäntylä, J. Latokartano, J. Vihinen, T. Naumann, S. Scharek, L.-M. Berger
»Deposition of Thick Wear and Corrosion Resistant Coatings by 6 kW High Power Diode Laser«
 24th International Congress on ICALEO 2005, Miami (USA) 31. Oktober - 03. November 2005
- [T86]** S. Völlmar, E. Beyer
»Virtuelle Realität in der Laser-Materialbearbeitung und Oberflächentechnik«
 Anwendungen der Virtuellen Realität im Umfeld der Ingenieurwissenschaften, Dresden (D) 22. März 2005
- [T87]** V. Weihnacht, B. Schultrich
»Superharte Kohlenstoffschichten (ta-C) für Automobilkomponenten«
 EFDS-Workshop »Funktionale Oberflächen für den Automobilbau«, Frankfurt (D) 14. November. 2005
- [T88]** T. Wünsche, W. Grählert
»In-Situ FTIR-Spectroscopy for Process Optimization and FDC at Infineon Technology«
 Workshop »Advances Process Control for Future Oriented Manufacturing«, Dresden (D) 22.-23. September 2005
- [T89]** H. Wust, P. Haller, G. Wiedemann
»Experimental Study of the Effect of a Laser Beam on the Morphology of Wood Surfaces«
 European Conference on Wood Modification 2005, Göttingen (D) 06.-07. Oktober 2005
- [T90]** R. Zieris, L.-M. Berger, I. Schulz, S. Martens, R. Enzl
»Investigation of Ceramic and Hard-metal Coatings in an Oscillating Sliding Wear Test«
 International Thermal Spray Conference & Exposition - ITSC 2005, Basel (CH) 02.-04. Mai 2005
- [T91]** O. Zimmer, B. Schultrich, T. Stucky, I. Endler, R. Schober, J. Vetter
»Beschichtung von Formwerkzeugen - Chance oder Kostenfaktor?«
 EFDS-Workshop »Beschichtete Werkzeuge - höhere Wirtschaftlichkeit in der Ur- und Umformtechnik«, Dresden (D) 25. November. 2005

Wenn Sie mehr Informationen wünschen, kreuzen Sie bitte das entsprechende Feld an und senden bzw. faxen Sie eine Kopie dieser Seite an unten genannte Adresse:

Bitte senden Sie mir:

- die Broschüre
»Problemlösungen aus einer Hand«
- die Broschüre
»One-Stop Solutions« (in englisch)
- den Jahresbericht 2003
- den Jahresbericht 2004
- einen weiteren Jahresbericht 2005

Adresse:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden
Gruppe Kommunikation
Ansprechpartner: Dr. Ralf Jäckel

Winterbergstr. 28
01277 Dresden

Tel.: 0351 / 2583 444
Fax: 0351 / 2583 300
E-mail: ralf.jaeckel@iws.fraunhofer.de

Internet: www.iws.fraunhofer.de

Bitte senden Sie mir Material über folgende Verfahren und Methoden:

Bereich Röntgen- und EUV-Optik

- Multischichten für EUV- und röntgenoptische Anwendungen

Bereich PVD-Dünnschichttechnologie

- Diamor® - Superharte, amorphe Kohlenstoffschichten für Werkzeuge zur Bearbeitung von Leicht- und Buntmetallen sowie Kunststoffen
- Diamor® - Superharte, amorphe Kohlenstoffschichten für Maschinen der Verpackungs- und Lebensmittelindustrie
- Laserakustisches Prüfgerät LAwave® für Schichten und Werkstoffoberflächen
- Laser-Arc-Modul zur Abscheidung von superharten amorphen Kohlenstoffschichten

Bereich CVD-Dünnschichttechnologie

- FTIR-Spektroskopie zur CVD-Diagnostik
- Optische Spektroskopie an Oberflächen und Schichten

Bereich Thermische Beschichtungsverfahren

- 3D-Laser-Pulver-Auftragschweißen mit dem Koaxial-Beschichtungskopf
- Laser-Rapid-Prototyping - Ein Verfahren zur schnellen Fertigung von Funktionsmustern
- Rapid-Prototyping von metallischen Bauteilen durch Laser-Flüssigphasen-Sintern von Verbundpulvern

Bereich Füge- und Randschichttechnologien

- Laserstrahlschweißen und Hybrid-schweißverfahren
- Laserstrahlschweißen mit Hochleistungs-Diodenlasern
- Induktiv unterstützte Laser-Materialbearbeitung
- Laserstrahlhärten - ein modernes Verfahren zur Verbesserung der Schwingfestigkeit von Bauteilen
- Werkstoffprüfung sichert Produktqualität
- GEOPT - Software zum Laserstrahlhärten

Bereich Systemtechnik / Laserabtragen und -trennen

- lasertronic® - Systeme aus dem Fraunhofer IWS Dresden
- lasertronic® - High-Power-Strahl-ablenkoptik für das Laserstrahlschweißen
- Formgenaues Hochgeschwindigkeits-Laserschneiden
- Laserstrahlabtragen dünner Deckschichten
- Laserbearbeitung von Naturstein
- Patinafreilegungen mit dem Laserstrahl
- Mikroschneiden und -bohren mit ultraviolettem Laserlicht
- Mikrostrukturierung von Keramiken mit Excimerlasern
- Rutschhemmende Ausrüstung polierter Natursteinoberflächen mittels Lasermikrostrukturierung

Post-Adresse:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden

Winterbergstr. 28

01277 Dresden

Internet-Adresse:

<http://www.iws.fraunhofer.de>

Tel.: (0351) 2583 324

Fax: (0351) 2583 300

E-mail: info@iws.fraunhofer.de

Anfahrtsweg:

Mit dem Auto (ab Autobahn):

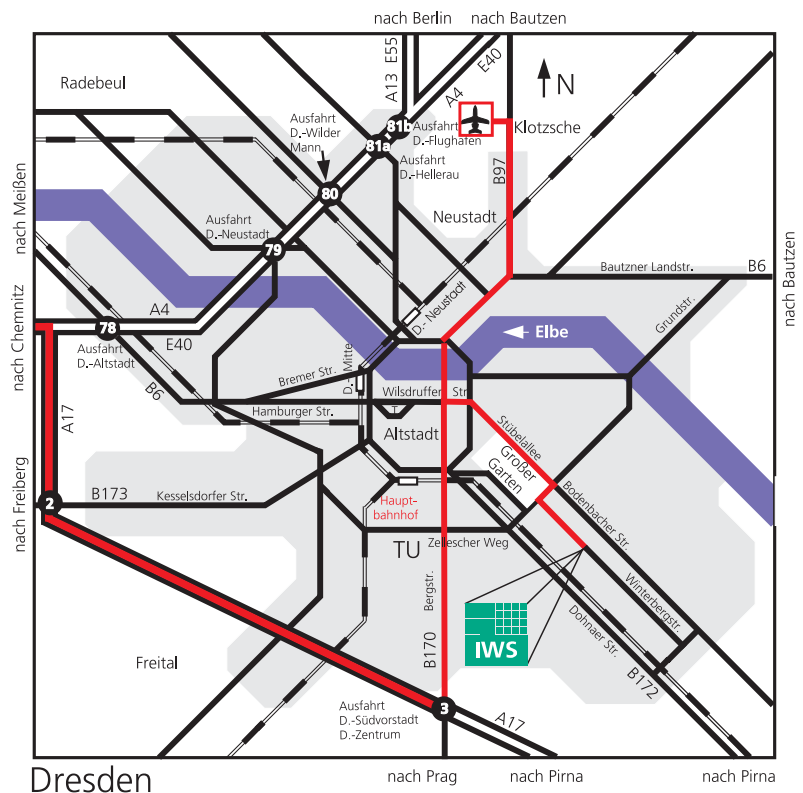
- Autobahn A4 oder A13 bis Dreieck Dresden-West, dann über die neue Autobahn A17, Ausfahrt Südvorstadt / Zentrum,
- Bundesstraße B170 folgend Richtung Stadtzentrum bis Pirnaischer Platz (ca. 6 km),
- am Pirnaischen Platz rechts abbiegen Richtung »Gruna / VW-Manufaktur«,
- geradeaus, am Ende des »Großen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

Mit der Straßenbahn (ab Dresden-Hauptbahnhof):

- Straßenbahnlinie 10 zum Straßburger Platz,
- mit den Linien 1 oder 2 stadtauswärts (Richtung Kleinzschachwitz bzw. Prohlis) bis Haltestelle Zwinglstraße,
- 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 s. Bahn.



Impressum

Redaktion: Dr. Ralf Jäckel
Dipl.-Ing. Karin Juch

Koordination / Gestaltung: Dipl.-Ing. Karin Juch
Dr. Ralf Jäckel

Bildnachweis: S. 6 (Abb. r.): Franck Thibault, London
S. 52 (Abb. 3): Fraunhofer CCL Plymouth, USA
S. 90 (Abb. u.): Messe München GmbH
alle anderen Abb.: Fraunhofer IWS Dresden

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2006

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.