



Fraunhofer

IWS

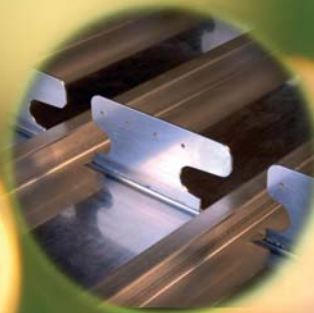
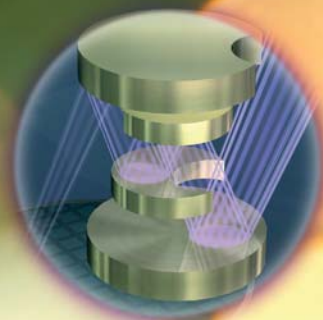
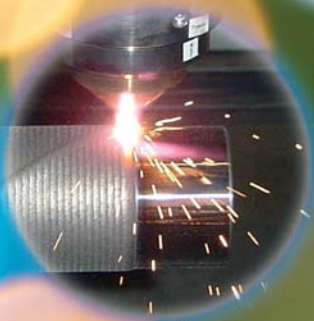
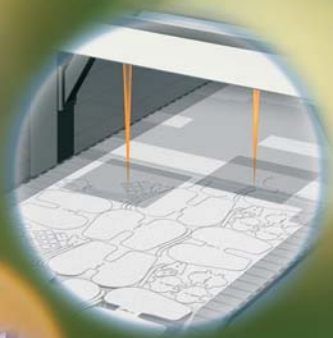


Dresden



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS

HIGHLIGHTS



| | |
|--|--------|
| Forschen für die Praxis | 2 |
| MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN AUS DEM FRAUNHOFER IWS | |
| Laserstrahlschweißen – Verfahrensentwicklung für die industrielle Fertigung | 4 |
| Laserstrahlschweißen integraler Rumpfschalen von Großraumflugzeugen | 8 |
| Laser-Remote-Schneiden von textilen Airbagmaterialien | 12 |
| Laserbehandlung von Elektrolech zur Senkung von Ummagnetisierungsverlusten | 15 |
| Laserintegration in die Fertigungstechnik | 18 |
| Laser – das optimale Werkzeug zur Lebensdauersteigerung von Turbinenschaufeln | 24 |
| Reflexionsschichten für die EUV-Lithografie | 27 |
| Laser-Arc-Modul und Diamor®-Verschleißschutzschichten | 30 |
| Kulturgüter reinigen und wieder sichtbar machen | 34 |
| SYSTEMKOMPONENTEN FÜR FLEXIBLE UND ZUVERLÄSSIGE FERTIGUNGSPROZESSE | |
| Komponenten zum Laser-Auftragschweißen und Generieren | 38 |
| Komplizierte Laserprozesse einfach überwachen, steuern und regeln | 43 |
| Innovative Messsysteme zur Qualitätssicherung in Industrie und Forschung | 48 |
| Mit Laser maßgeschneiderte Mikroreaktoren – das miniaturisierte Labor aus einer Hand | 52 |
| Meilensteine des Fraunhofer IWS | 54 |
| Impressum | 56 |



FORSCHEN FÜR DIE PRAXIS

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit der einzelnen Fraunhofer-Institute trägt zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Die Institute fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Die Forscher des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden stellen sich dieser Aufgabe gern. In direktem Kontakt mit dem Auftraggeber entwickeln unsere Mitarbeiter Produkte, Verfahren und individuelle Lösungen bis zur Anwendungsreife. Dabei ist es unser Ziel, Problemstellungen kundengerecht zu lösen. Ein Problem ist nicht gelöst, wenn unser Kunde einen Forschungs- oder Entwicklungsbericht erhält, wir ein Bauteil herstellen oder ein neues Verfahren demonstrieren. Das Problem eines Unternehmens ist in der Regel erst dann gelöst, wenn es mit der Lösung Geld verdient. Darin sehen wir unseren Auftrag.

Das Fraunhofer IWS ist durch zwei sich überlappende Arbeitsbereiche gekennzeichnet, die Lasertechnik und die Oberflächentechnik. Die Entwicklung von Technologien und Systemen mit dem maßgeschneiderten Licht des Lasers und die Herstellung funktionaler Oberflächen sind spannende Forschungsfelder mit großartigen Perspektiven für die Zukunft.

**»FÜR UNS SIND DIE PROBLEMSTELLUNGEN UNSERER KUNDEN ERST
DANN GELÖST, WENN SIE MIT DER ERARBEITETEN LÖSUNG GELD
VERDIENEN.« (PROF. E. BEYER, INSTITUTSLEITER)**

Durch die enge Zusammenarbeit mit Anlagen- und Systemherstellern können wir unseren Kunden Problemlösungen aus einer Hand anbieten. Diese beruhen in der Regel auf neuartigen Konzepten, welche auf der Gesamtbetrachtung des Bearbeitungssystems, des Verfahrens sowie des Werkstoff- und Bauteilverhaltens basieren. Der Werkstoff ist ein zentrales Element der Fertigungstechnik. Und die Nanotechnik gewinnt in der Werkstoff- und Fertigungstechnik der Zukunft zunehmend an Bedeutung.

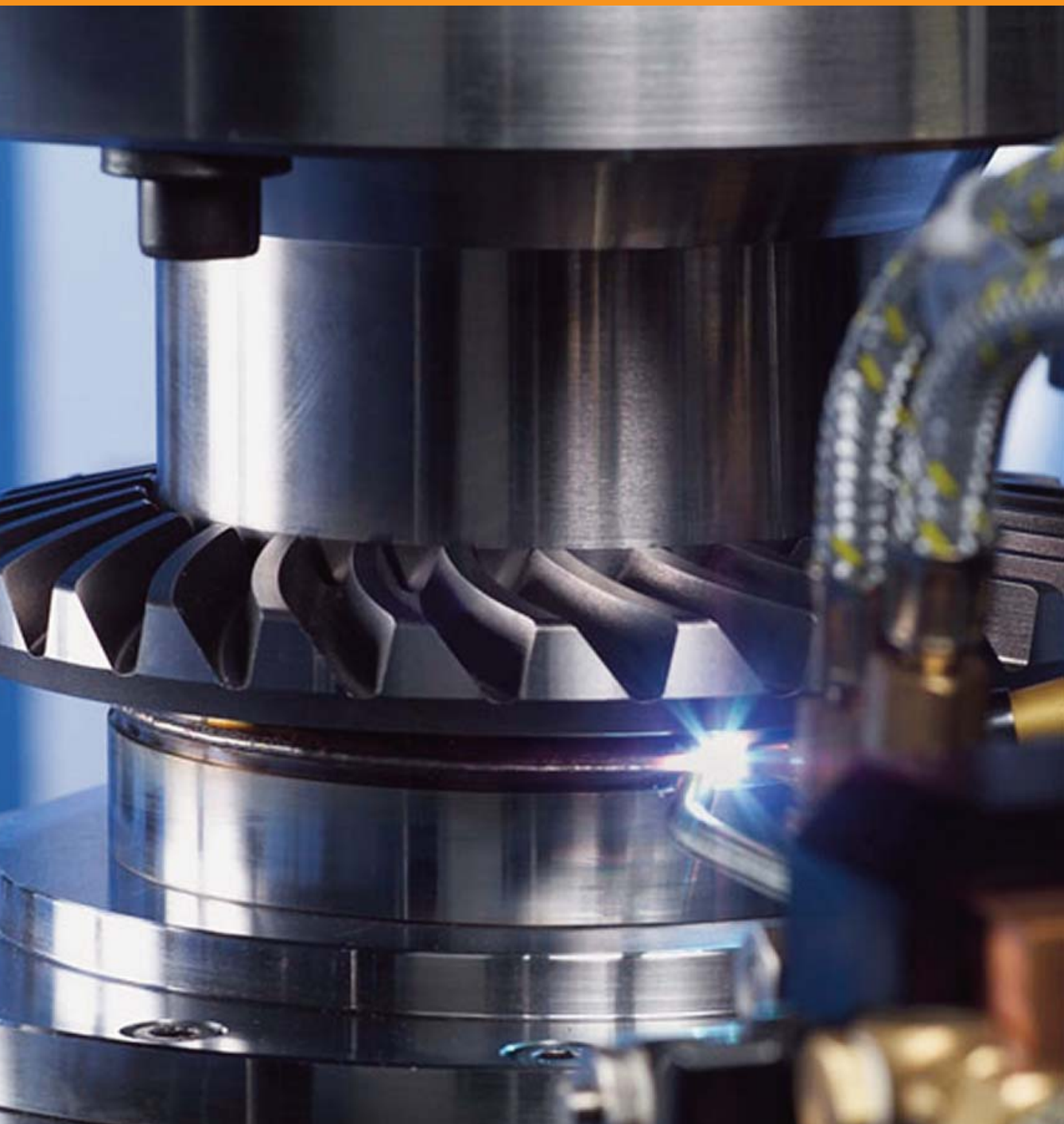
Auf beiden Gebieten hat das Fraunhofer IWS Dresden Kernkompetenzen auf- und ausgebaut. Die ständige Erweiterung der Ausstattung des IWS garantiert die effektive Bearbeitung von Aufgaben auf hohem Niveau und entsprechend dem neuesten Stand der Technik. In den letzten Jahren hat das Fraunhofer IWS seine FuE-Aktivitäten vor allem im Bereich Energieeffizienz und Energietechnik stark ausgeweitet. Zahlreiche Projekte zum Thema Energie wurden angegangen und konnten erfolgreich abgeschlossen werden, beispielsweise im Bereich der Batterieforschung, der Reibungsminderung und der Elektroblechoptimierung.

Seit Aufnahme seiner Tätigkeit konnte das Fraunhofer IWS eine Vielzahl von Entwicklungen auf verschiedensten Arbeitsgebieten in die industrielle Serienfertigung überführen. Die wichtigsten Innovationen möchten wir in dieser Broschüre vorstellen.



Prof. Dr. Eckhard Beyer
Institutsleiter Fraunhofer IWS Dresden

MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN
AUS DEM FRAUNHOFER IWS





LASERSTRAHLSCHWEISSEN – VERFAHRESENTWICKLUNG FÜR DIE INDUSTRIELLE FERTIGUNG

Das moderne Laserstrahlschweißen, entwickelt und vorangetrieben vom Fraunhofer IWS Dresden und seinen Partnern in der Industrie, hat sich in den vergangenen Jahren als eines der wirtschaftlichsten und energieeffizientesten Fügeverfahren im Automobilbau etabliert. In der Massenproduktion von Autos ist diese Technologie weltweit nahezu unverzichtbar geworden. Dank neuer Strahlquellen wird der eingeschlagene Weg weiter fortgesetzt. Die intensive Zusammenarbeit des Fraunhofer IWS mit Systemherstellern wie ARNOLD, EFD, EMAG, IPG, Rofin Sinar und TRUMPF ist dabei Garant für Entwicklungsergebnisse, die praktisch umsetzbar, kostensparend und nachhaltig sind.

Ein Blick zurück: Bis Anfang der 90er Jahre wurde das Laserstrahlschweißen als Fügeverfahren in der Autoindustrie kaum eingesetzt. Gründe dafür waren die damals wenig zufriedenstellende Leistungsfähigkeit im großtechnischen Einsatz sowie der Umstand, dass sich einige Materialpaarungen per se schlecht zum Schweißen eignen. In der Praxis hieß das: Für die relativ einfache Aufgabe, aus zwei Bauteilen eines zu machen, musste in der Regel ein Umweg über zusätzliche Teile wie Nieten, Schrauben, Sicherungsringe, Federn, Keile, Stifte oder andere Verbindungselemente genommen werden. Das war nicht nur ein weiterer Bearbeitungs- und Materialaufwand, denn zudem waren Konstrukteure gezwungen, Abstriche bei Funktion und Design zu machen.

0 Prozess des Laserschweißens mit Zusatzwerkstoff

1 Anwendungsbeispiele Laserstrahlschweißen im Bereich Antriebsstrang



Die Einführung von Lasern mit höherer Strahlqualität und Leistungsdichte hat völlig neue Möglichkeiten beim Schweißen von Bauteilen aus eigentlich schwer bzw. nicht schmelzschweißbaren Stählen eröffnet. Entscheidender Motor dieses Prozesses war das Fraunhofer IWS in Dresden. Dass heute im Ergebnis Vergütungsstähle effektiv rissfrei zu schweißen und fehlerfreie Schweißverbindungen selbst mit Gusseisen zu realisieren sind, ist drei wesentlichen Technologien des IWS zu verdanken: dem Laserstrahlschweißen mit hochfrequenter Strahloszillation, dem Laserinduktionsschweißen mit einem in den Schweißprozess integrierten, lokalen induktiven Wärmeeintrag und dem Laserstrahlschweißen mit werkstoffangepasstem Schweißzusatzwerkstoff.

Laserstrahlschweißen im Getriebebau – eine Erfolgsgeschichte

Beispiel Getriebebau: Noch bis vor wenigen Jahren wurden die meisten Getriebe im Pkw-Bereich vollständig mechanisch gefügt, geschraubt, vernietet. Damit verbunden waren ein hoher Einsatz von Material und Energie sowie ein enormer Fertigungs- und damit Kostenaufwand. Die Gründe, warum Automobilhersteller und –zulieferer auf der ganzen Welt bestrebt sind, z. B. die konventionell geschraubten Varianten durch modernes Laserschweißen zu ersetzen, sind augenfällig.

Denn die IWS-Laserschweißtechnologien versprechen:

- deutlich kürzere Fertigungszeiten und damit Kostenersparnis,
- neue konstruktive Freiheitsgrade der Bauteile, die Chancen für Leichtbaukonstruktionen mit minimalem Raumbedarf bieten,
- mögliche Gewichts- und Materialeinsparungen von ein bis zwei Kilogramm je Differenzialgetriebe,
- Einsparungen im Kraftstoffverbrauch und eine bessere Energiebilanz.



Nachhaltigkeit beim Transfer in die moderne Fertigung

Heute können Industriekunden mit den unterschiedlichsten Anforderungen an Schweißnahtqualität, Bauteildesign oder Stückzahl auf ein leistungsfähiges Netzwerk kompetenter Systemanbieter zurückgreifen. Die Wissenschaftler des Fraunhofer IWS entwickelten verschiedene Powertrain-Technologien (Laserinduktionsschweißen, Laserreinigen, induktives Kurzzeitanlassen lasergeschweißter Bauteile, plasmaspektroskopische Prozessüberwachung), die einzeln oder auch kombiniert je nach Kundenwunsch und Erfordernis eingesetzt werden.

Bis 2012 zeugen 26 vom Fraunhofer IWS betreute Industrieapplikationen in 22 Anlagen von der erfolgreichen Zusammenarbeit mit Automobilherstellern wie BMW, Daimler, Ford, Volkswagen sowie Getriebeherstellern und Zulieferfirmen wie AAM, GETRAG, GKN, Visteon, Winkelmann und ZF in ganz Europa, den USA und Fernost.

- 1 Prozesskettenverkürzung durch Laserstrahlschweißen mit Zusatzwerkstoff und Ersatz aufwändiger und gewichtsintensiver Schraubverbindungen an Differenzialgetrieben;
links: lasergeschweißtes Differenzial, rechts: konventionelle Schraublösung
- 2 Laserstrahlschweißen eines Getriebebauteils
- 3 Torsen-Differenzialgetriebe, hergestellt durch Laserstrahlschweißen mit Zusatzwerkstoff;
Verbindung: Gusseisen / Gusseisen
- 4 Anlage zum Laserstrahlschweißen von Differenzialgetrieben

MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN
AUS DEM FRAUNHOFER IWS





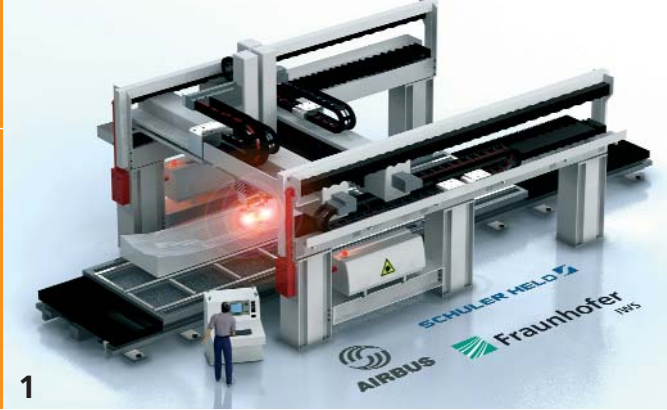
LASERSTRAHLSCHWEISSEN INTEGRALER RUMPFSCHALEN VON GROSSRAUMFLUGZEUGEN

Im Flugzeugbau das Laserstrahlschweißen einzuführen hatte zwei Gründe: verglichen mit der Verwendung von Nieten werden die Herstellungskosten erheblich gesenkt, außerdem kann eine deutliche Verringerung des Strukturgewichts erreicht werden. Bereits seit mehreren Jahren werden im Unterrumpfbereich der Airbusmodelle A318, A340-600 und A380 laserstrahlgeschweißte Stringer-Haut-Verbindungen erfolgreich eingesetzt. Dabei geht es nach Angaben des Fertigers Premium AEROTEC GmbH bei großen Flugzeugen wie dem Großraum-Airbus A 380 immerhin um eine Schweißnahtlänge von etwa 1400 Metern. Im Ergebnis werden beim A340-600 durch das Laserstrahlschweißen der unteren Rumpfsktion rund 100 Kilogramm eingespart, die Gewichtseinsparungen durch das Laserschweißen werden für Primärstrukturen auf neun bis elf Prozent beziffert (Quelle: www.industrie-forum.net/de).

Die notwendigen Technologien – an deren Entwicklung das Fraunhofer IWS entscheidend mitgewirkt hat – jedoch im industriellen Maßstab umzusetzen, hieß neben umfangreichen Untersuchungen nach gänzlich neuen Maschinenkonzepten zu forschen. Geht es doch im Flugzeugbau um beidseitig-gleichzeitiges Laserschweißen von großen, sphärisch gekrümmten 3D-Bauteilen in beliebigen Raumrichtungen mit gleichzeitiger Bauteilbespannung für das Fügen von Stringer-Haut- sowie Clip-Haut-Verbindungen.

0 Lasergeschweißte Al-Flugzeugrumpfstruktur mit Längs- (Stringer) und Umfangsversteifungen (Clips) sowie Verbindern

1 Bildmontage



Neue Anlagentechnik für CO₂- und Festkörperlaser

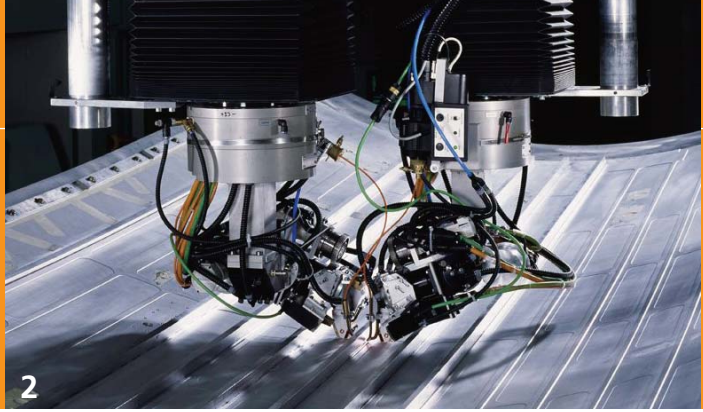
2001 wurde am Fraunhofer IWS gemeinsam mit industriellen Partnern ein neuartiges Prinzip für eine Laserstrahlschweißanlage realisiert. Anders als bei bisherigen Anlagenkonzepten sollte mit feststehenden Strahlquellen gearbeitet werden, damit eine ausreichend hohe Maschinendynamik erzielt werden kann. Neben einer besonders großen Flexibilität bietet die gefundene Lösung etliche Vorteile: deutlich verbesserte Beschleunigungswerte für die Bauteil-Relativbewegung, ein verringerter Platzbedarf und eine geringere Änderung der Strahlweglänge beim Schweißen mit CO₂-Lasern.

Innovative technologische Lösungen

Zurzeit konzentriert das Fraunhofer IWS seine grundlegenden Untersuchungen zu den Eigenschaften laserstrahlgeschweißter Verbindungen auf die bei der Firma Airbus im Einsatz befindlichen Legierungen der 6xxx-Reihe sowie zukünftiger ALi- und AlMgSc-Legierungen. Dabei geht es den Wissenschaftlern um die Bewertung des Schweißnaht-Undermatchings sowie um die Entwicklung von Konzepten, mit denen der Festigkeitsunterschied zwischen Schweißgut und Grundwerkstoff ausgeglichen werden kann. Gemeinsam mit Airbus wurde ein neuartiger Y-Stringer entwickelt, mit dem das Laserstrahlschweißen künftig auch für hochbelastete Schub-Druck-Schalen des Flugzeugrumpfes empfohlen werden kann.

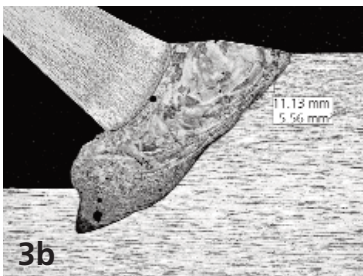
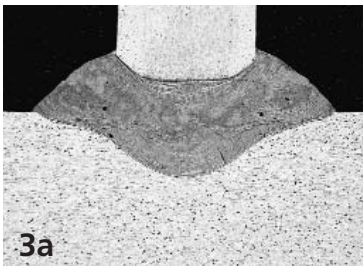
Verbesserung der Schadenstoleranz

Die Auslegung der komplex beanspruchten Struktur eines Flugzeugrumpfes erfolgt unter Berücksichtigung von statischen Lasten sowie Ermüdungsfestigkeit, Rissfortschrittsgeschwindigkeit und Restfestigkeit. Doch wie kann erreicht werden, dass sich die lasergeschweißten Haut-Haut-Verbindungen als genauso stabil erweisen, wie der nicht geschweißte Grundstoff? Zwei Möglichkeiten bieten sich an: Es kann die Beanspruchung im Schweißnahtbereich verringert werden und es kann der Schweißnahtverlauf in Bezug auf die äußere Belastungsrichtung verändert werden. Dazu hat das Fraunhofer IWS erstmalig nichtlineare Schweißkonfigurationen entwickelt und erprobt und damit erreicht, dass Rissfortschritt- und Restfestigkeitswert vergleichbar mit denen des nicht geschweißten Hautwerkstoffes sind. Müßig festzustellen, welches Potenzial in den Ansätzen der Wissenschaftler für flugzeugtypische Blechdickenbereiche liegt.



Werkstoff- und Prozessentwicklung sind eng verbunden

Werkstoff- und Prozessentwicklung gehen bei der Suche nach innovativen metallisch geschweißten Rumpfstrukturen Hand in Hand – immer im Hinblick auf mögliche Einsparungen bei Fertigungskosten und Gewicht. Insbesondere neue, in der Entwicklung und Erprobung befindliche Werkstoffe wie AlMgSc-Legierungen, sind für geschweißte Integralstrukturen interessant. Sie übertreffen die derzeit für lasergeschweißte Strukturen eingesetzten Werkstoffe der 6xxx-Reihe und sie besitzen bessere Verarbeitungseigenschaften.

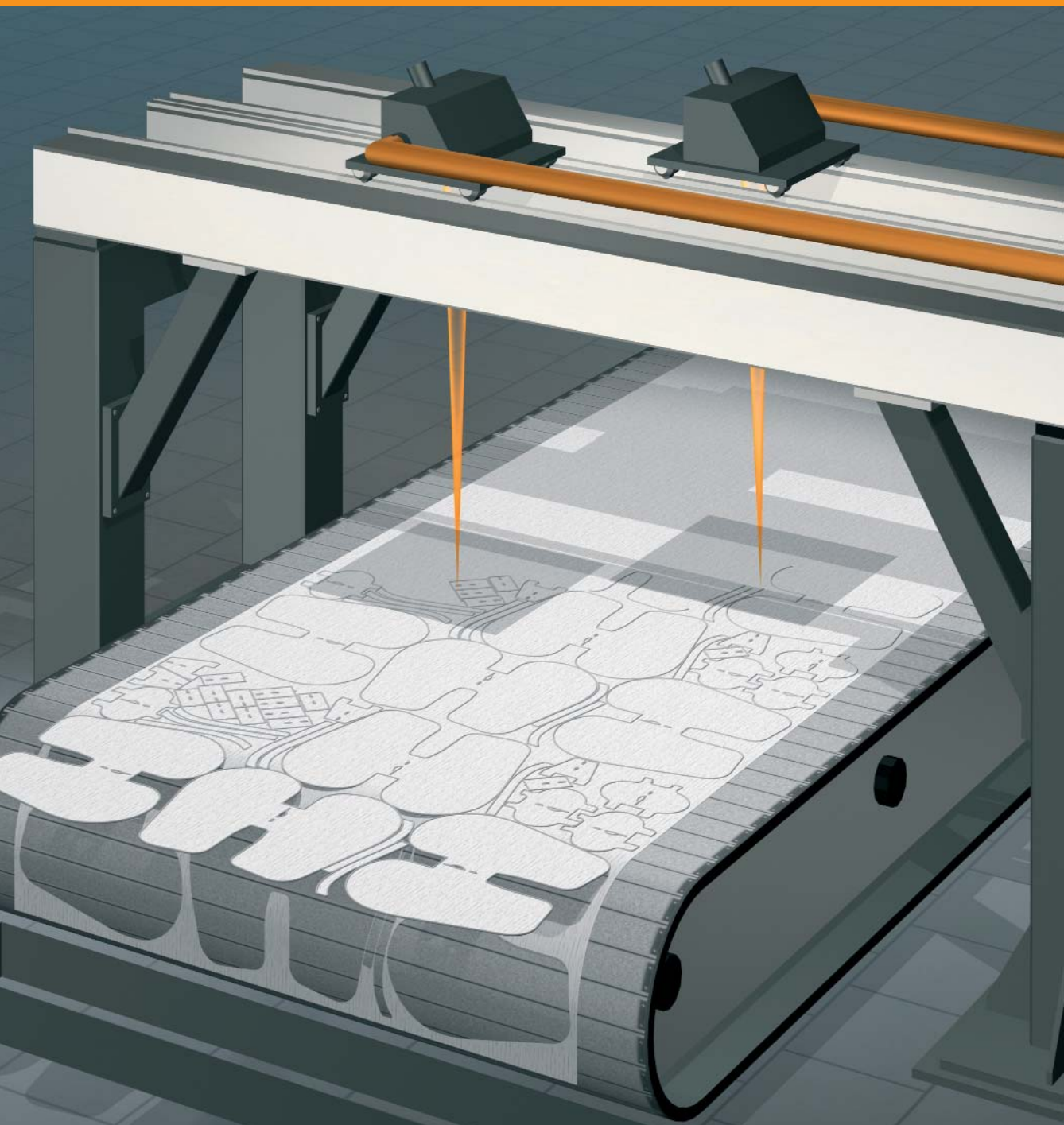


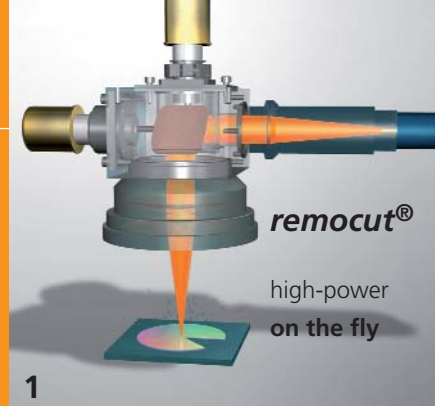
»Der zivile Flugzeugbau unterliegt steigendem Druck zur permanenten Weiterentwicklung der Produkte, um den wachsenden Anforderungen der Airlines nach Leistungssteigerungen und Kostensenkung gerecht zu werden. Die Flugzeugstruktur leistet ihren wesentlichen Beitrag in diesem Entwicklungsprozess der Reduktion des Strukturgewichts und der Senkung der Herstell- und Wartungskosten.

Durch die Einführung des Laserstrahlschweißens in primären Strukturen wurde ein Technologiesprung zur Stärkung der Metallposition gegenüber Compositen erreicht, der neue Ziele für die Strukturentwicklung zukünftiger Flugzeug-Großkomponenten, wie Flügel und Rumpf, mit sich bringt.«
(Quelle: Airbus Deutschland GmbH, Bremen).

- 1 Doppel-Gantry-Anlage zum beidseitig-gleichzeitigen Schweißen großformatiger Luftfahrtstrukturen (2001)
- 2 3D-Schweißköpfe für beidseitig-gleichzeitiges Laserstrahlschweißen von Flugzeugrumpfstrukturen mit integrierter mitlaufender Spannvorrichtung, Nahtverfolgung und Schweißzusatzdraht-Zufuhr
- 3 Querschnitt einer beidseitig-gleichzeitig geschweißten Stringer-Haut-Verbindung (a) und einer neuartigen Konfiguration des Stringers (b)

MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN
AUS DEM FRAUNHOFER IWS





LASER-REMOTE-SCHNEIDEN VON TEXTILEN AIRBAGMATERIALIEN

Bei der Remote-Bearbeitung wird der Laserstrahl mit bewegten Spiegelementen abgelenkt und mit höchster Dynamik über das zu bearbeitende Bauteil geführt. Dadurch werden Positionierzeiten zwischen einzelnen Bearbeitungsschritten minimiert und die Prozessgeschwindigkeit auf komplexen Geometrien nahezu konstant gehalten. Die Geschwindigkeit des Laserspots kann dabei einige Meter pro Sekunde erreichen, so dass der Materialbearbeitungsprozess, zum Beispiel das Schneiden komplexer Airbagteile, in wenigen Sekunden abgeschlossen ist.

Für den industriellen Einsatz der Remote-Technologie zum Schweißen, Schneiden, Reinigen und Gravieren entwickelt das Fraunhofer IWS Dresden, angepasst an die Anforderungen der Kunden, Bearbeitungsoptiken und Softwarelösungen für die Prozesssteuerung und Fertigungsvorbereitung. Kombiniert man die Remote-Technik der schnellen Strahlbewegung mit einem kontinuierlichen Vorschub des Materials, z. B. einer mehrere Meter breiten Gewebbahn, führt das zu einer äußerst leistungsfähigen und hinsichtlich des Platzbedarfes sehr vorteilhaften systemtechnischen Lösung.

Anlagenkonzepte mit industrieerprobten Remote-Bearbeitungsoptiken

Bis 2007 war der Formschnitt von Airbags aus bis zu drei Meter breiten Polyamid-Gewebbahnen fast ausschließlich mit gasunterstütztem Laserschneiden üblich. Zwar konnte die Produktivität von Multilayer-Anlagen, auf denen bis zu 30 Materiallagen gleichzeitig geschnitten werden, nach und nach gesteigert werden. Das Vereinzeln der teilweise noch durch Zwischenlagen voneinander getrennten Teile nach dem Schnitt blieb jedoch sehr aufwändig. Auch erwies sich die Schnittqualität der Einzellagen als unterschiedlich, so dass bei hohen Qualitätsanforderungen die Anzahl der Lagen drastisch verringert werden musste.

0 Anlagenprinzip des Remote-Laserschneidens „on the fly“ mit zwei bewegten Scannerköpfen

1 Prinzip der high-speed-Strahlableitung



Basierend auf langjährigen Erfahrungen in der Remote-Bearbeitung hat das Fraunhofer IWS gemeinsam mit der Firma Held Systems ein für die Industrie umsetzbares Konzept entwickelt. Beim so genannten contiLAS-System handelt es sich um eine doppelt überlagerte »on the fly« Bearbeitung. Die Remote-Technologie ermöglicht die Umsetzung des Laserschneidprozesses auf beliebige Schneidkonturen und Materialbreiten. Es können ein oder mehrere Scanner die Gewebebahnen bearbeiten. Somit werden Materialtransport-Geschwindigkeiten von bis zu 25 Metern pro Minute erreicht.

Die Vorteile gegenüber dem früheren gasunterstützten Laserschneiden liegen auf der Hand:

- verringerte Teiletaktzeit beim Schneiden von Bandmaterial
- verbesserte Qualität der geschnittenen Teile
- Bearbeitung breiter Materialbahnen mit einem Laser
- deutlich verbesserte Materialausnutzung
- Wegfall von Trennmaterialien
- keine nachträgliche Vereinzelung der Teile

Das Anlagenkonzept eignet sich für alle Anwendungen, bei denen eine räumlich begrenzte hochdynamische Strahlableitung auf große Arbeitsfelder zu übertragen ist. In Frage kommen dafür:

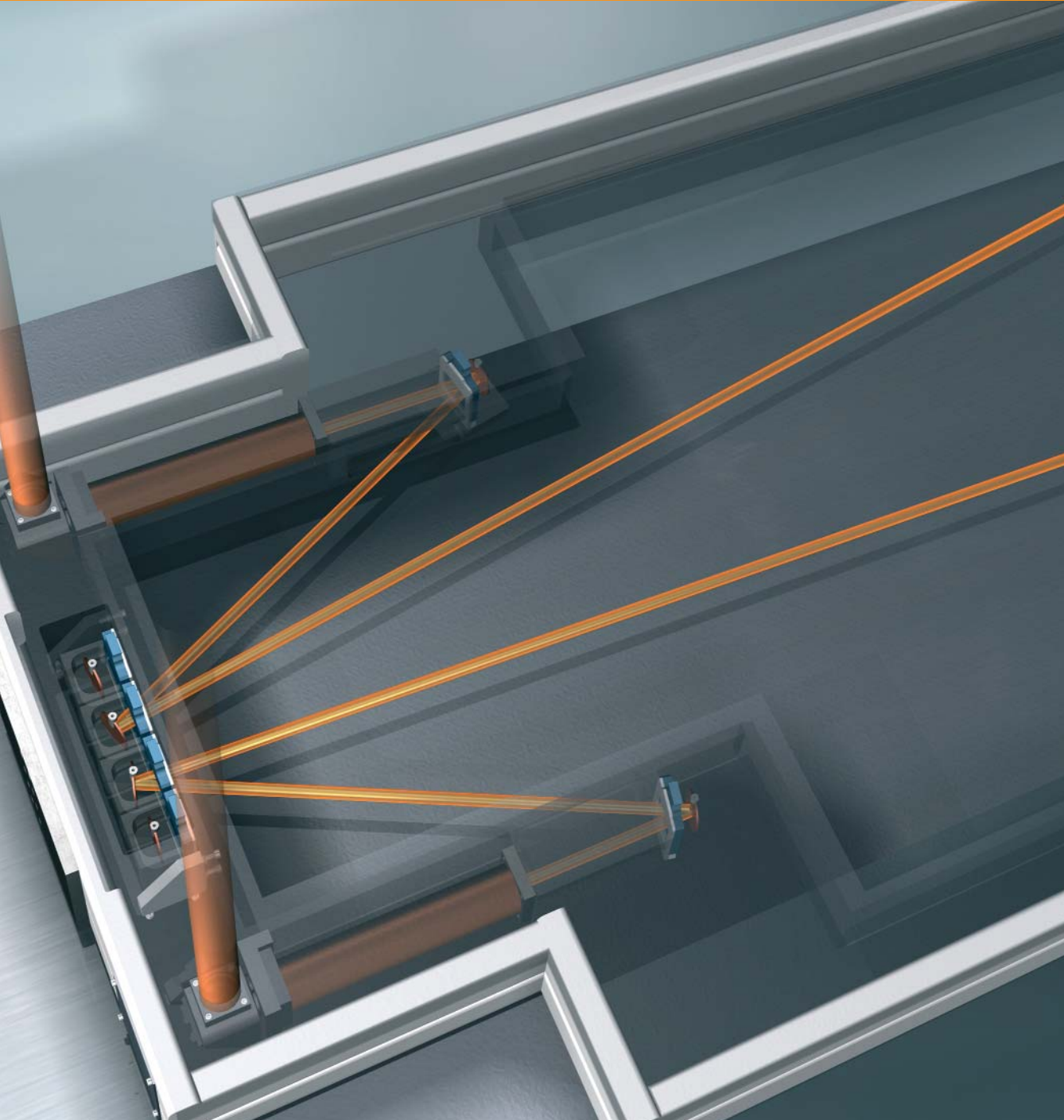
- flexibler Folienzuschnitt
- Schweißen von Wärmetauscherplatten
- Schneiden von Bezugs- und Filterstoffen
- Bearbeiten von Hochleistungs-Faserverbundwerkstoffen

Mit den sieben bis Ende 2012 erfolgreich in die Industrie überführten Systemen, basierend auf der Technologie des Laser-Remote-Schneidens »on the fly«, konnten Produktivitätssteigerungen von 50 - 90 % gegenüber dem bisherigen Mehrlagenschnitt nachgewiesen werden.

1 Laseranlage »Contilas 2500 2Sc« der Firma Held Systems Deutschland GmbH für die Airbagproduktion

2 PKW-Seitenairbag

MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN
AUS DEM FRAUNHOFER IWS





LASERBEHANDLUNG VON ELEKTROBLECH ZUR SENKUNG VON UMMAGNETISIERUNGSVERLUSTEN

Die Notwendigkeit, Energie einzusparen, ist ständiger Anshub für neue Entwicklungen. Betrachten wir den Fall Leistungsverluste bei Geräten wie Transformatoren, Überträgern und Elektromotoren: Sie müssen über die bisherigen werkstofftechnischen Maßnahmen hinaus reduziert werden, wenn Energie eingespart, die Eigenerwärmung der Geräte verringert und die Frequenzabhängigkeit der magnetischen Eigenschaften begrenzt werden soll.

Als Erfolg versprechend für kornorientiertes Elektroblech hat sich die Verfeinerung der magnetischen Domänenstruktur mit gezielt eingebrachten Oberflächendefekten erwiesen. Erreicht wird dies durch mechanisches Kratzen, Funkenerosion, Plasmaflammenbehandlung, chemisches Ätzen und nicht zuletzt durch das sogenannte Laserscratching. Schon jetzt wird dieses Verfahren in unterschiedlicher technischer Ausführung industriell genutzt. Grundlage des Laserscratchings ist eine laserinduzierte Temperaturerhöhung auf der Blechoberfläche, die im Inneren eine lokal begrenzte Versetzungsbildung auslöst. Damit wird im Zusammenwirken mit den entsprechenden Prozessparametern die durch die Ummagnetisierung bedingte Verlustleistung gesenkt.



Scannerbasierte Systemtechnik lasertronic®SAO 10.6/6D

In dem Moment, in dem es gelingt, die Laserbehandlung in die Herstellung kornorientierter Elektrobleche mit Bandgeschwindigkeiten von etwa 80 Metern je Minute und einer Blechbreite von etwa einem Meter zu integrieren, wird das Laserscratching auch großtechnisch interessant. Will man die dafür notwendigen Laserspotgeschwindigkeiten von 200 Metern pro Sekunde erreichen, müssen die konventionellen Methoden allerdings passen.

Die Lösung liegt im Einsatz der Scannertechnik, bei der der Laserstrahl durch das Verkippen leichter Umlenkspiegel sehr schnell bewegt werden kann. Im Auftrag der Rofin Sinar Laser GmbH hat das Fraunhofer IWS in Kooperation mit der Maschinenfabrik Arnold in Ravensburg ein Anlagenkonzept entwickelt und patentiert, das alle Forderungen an Werkstoffphysik, Prozesstechnik und Systemtechnik erfüllt und teilweise sogar übertrifft.

Die vom Konsortium Rofin Sinar, Fraunhofer IWS und Maschinenfabrik Arnold installierten Systeme sind in der Lage, die Ummagnetisierungsverluste von kornorientiertem Elektroblech um bis zu zehn Prozent zu verringern. Erst die Kombination aus Scannertechnik und schnell ansteuerbaren Lasern mit exzellenter Strahlqualität ermöglichte eine neue Generation von Anlagen für die Behandlung von Elektroblech. Die sehr guten Strahleigenschaften der verfügbaren Laserstrahlquellen erlauben ein optisches Setup des Systems mit einer minimalen Elementanzahl und die Verwendung sehr kleiner und leichter Scannerspiegel. Diese führen bei Leistungen bis zu 3 kW zu bisher nicht erreichten dynamischen Eigenschaften des Systems.

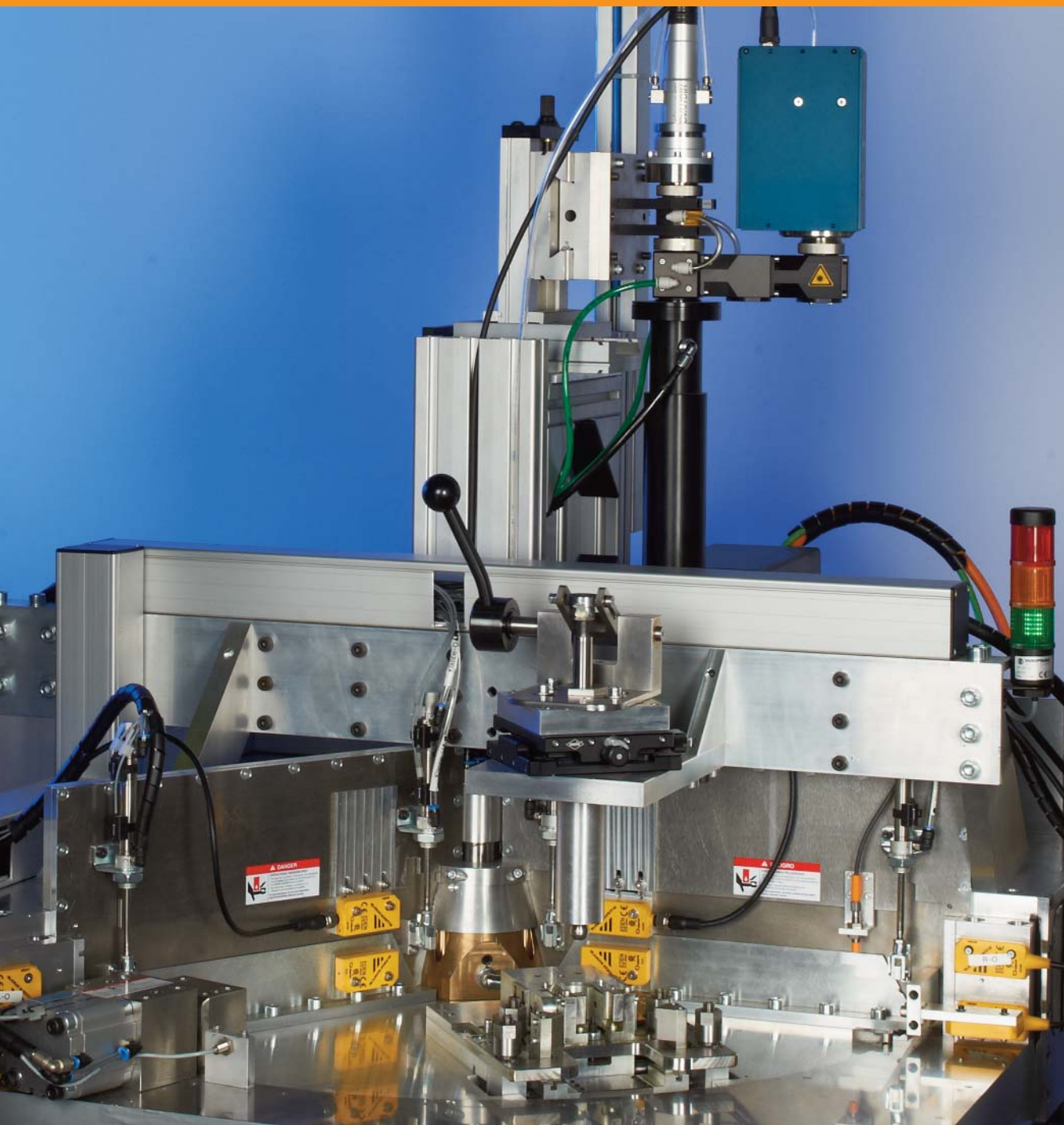
Weltweit haben sieben Systeme einen Kunden gefunden: Seit 2003 wurden vier Systeme dieses Konsortiums installiert, weitere drei Systeme haben Mitte 2012 die Produktion aufgenommen.

0 Schematischer Strahlverlauf in der Scannerbox

1 Testsystem für die Laser-Domänenfeinung

2 Bearbeitungsanlage während der Aufbauphase bei der Maschinenfabrik Arnold in Ravensburg

MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN
AUS DEM FRAUNHOFER IWS





LASERINTEGRATION IN DIE FERTIGUNGSTECHNIK

Geht es um den Einsatz moderner Lasertechnik in der Industrie, steht der Ruf nach Flexibilität weit oben auf der Wunschliste. Lasertechnik ist häufig das Mittel der Wahl, um bereits bestehende Maschinenkonzepte und Automatisierungsprozesse zu optimieren. Außerdem erschließt sie völlig neue Anwendungsfelder. Sie ist Garant für kürzere Fertigungsprozesse bei Kleinserien, wo maximale Anpassungsfähigkeit im Vordergrund steht, genauso wie in der Massenfertigung, wo es in der Regel um Kostenoptimierung geht.

Laserstrahlhärten – Integration in die Fertigung ermöglicht schlanke Prozesse

Ein Beispiel für maßgeschneiderte Lösungen ist das Härten von Maschinen- oder Fahrzeugbauteilen aus Stahl oder Gusseisen, ein Standardverfahren, das den Verschleißwiderstand und die Festigkeit von Teilen erhöht. Beim konventionellen Verfahren werden die Bauteile komplett in Öfen und Vakuum- oder Plasmaanlagen gehärtet. Ist jedoch die umfassende Härtung des ganzen Teils nicht erwünscht, bevorzugt man lokales Härten mit Flamme, Induktion – oder seit neuestem – mit Laser. Dass sich in den vergangenen zehn Jahren das Laserstrahlhärten für lokal beanspruchte Bauteile etabliert hat, ist dem wesentlichen Beitrag des IWS Dresden zuzuschreiben. Insbesondere der Formen- und Werkzeugbau, aber auch die Automobilindustrie setzen immer häufiger auf diese Technik.

0 Anlage zum Laserstrahlhärten mit Drehspiegeloptik

1 Auswahl lasergehärteter Bauteile



Technologieentwicklungen zum effektiven Randschichthärten rotationssymmetrischer Teile

Je aufwändiger ein Bauteil ist, desto eher stoßen konventionelle Härteverfahren an ihre Grenzen. Teile mit rotationssymmetrischen oder anderen kompliziert geformten Funktionsflächen etwa verlangen nach Verfahren und Strahlformungseinheiten, die durchgängig und anlasszonenfrei härten können. Von der Laserhärtung erwarten sich Automobilindustrie und andere Branchen zudem über die technischen Vorteile hinaus spürbare Kostensenkungen. Eine Reihe von Anwendungen in der Industrie zeigt, wie Entwicklungen des Fraunhofer IWS den unterschiedlichen Anforderungen von Produzenten gerecht werden:

Beispiel 1: Anlagen zum Randschichthärten von Turboladerwellen für Nutzfahrzeuge

Praktisch eingesetzt wird die vom Fraunhofer IWS entwickelte temperaturgeregelter Leistungssteuerung lasertronic®LompocPro (»LompocPro«) bei drei Anlagen der BorgWarner Turbo Systems GmbH in Kirchheimbolanden. Dort wurde der Laser in eine Fertigungszelle integriert, in der Turboladerwellen für Nutzfahrzeuge im Bereich der Lagerstellen partiell gehärtet werden. Die Anlagen werden dreischichtig eingesetzt, die Taktzeiten liegen im Bereich von 60 Sekunden.

Beispiel 2: Härteprozess in Drehautomat integriert

In direkter Zusammenarbeit des Fraunhofer IWS mit dem Drehmaschinenhersteller Benzinger wurden 2008 mehrere Drehmaschinen mit integriertem Hochleistungsdiodenlaser für die Herstellung von Hydraulikkomponenten der Bosch Rexroth AG in Lohr/Main in Betrieb genommen. Taktzeiten von nur noch drei bis vier Sekunden reiner Härtezeit im Vergleich zu 75 Sekunden bei der bisherigen mechanischen Verarbeitung sprechen für sich. In Lohr bedient ein fasergekoppelter Hochleistungsdiodenlaser drei Anlagen sequenziell. Da die dortige Maschine eine Zweispindelanlage ist, wird fast während des gesamten Laserprozesses auf der Hauptspindel weiter gearbeitet.

Der Materialdurchlauf von der Stange Rohmaterial bis zum fertigen Ventil konnte von 20 Stunden auf 20 Minuten reduziert werden.



Beispiel 3: Lokale Härtung von Kugelkalotten für Nutzfahrzeuge

Für stark gekrümmte, rotationssymmetrische konvexe oder sogar konkave Bauteiloberflächen entwickelten die IWS-Wissenschaftler eine flexible Sonderoptik auf Basis eines rotierenden Spiegelsystems mit integrierter Temperaturregelung. Ein Anwendungsbeispiel für den industriellen Einsatz der IWS-Drehspiegeloptik ist die lokale Härtung der Kugelkalotte von Bauteilen aus der Fahrwerkstechnik. Die optimale Laserprozesszeit liegt im Sekundenbereich, damit eignet sich das Verfahren für die Großserienproduktion. Für die Prozessregelung wird auch hier das System »LompocPro« verwendet. Die Temperaturerfassung erfolgt mit dem vom IWS entwickelten Kamerasystem »E-MAqS«. Der Fertiger spart erheblich Durchlaufzeit, Logistikaufwand und Kosten.

Beispiel 4: Prozessentwicklung für Anlagen zum Härten von Diesel-Injektoren

In Zusammenarbeit zwischen der Firma SITEC und dem Fraunhofer IWS ist eine Lösung für das Härten von Diesel-Injektoren gefunden worden. In diesem Fall muss in einem hochpräzisen, rotationssymmetrischen Bauteil eine Wandung in einer schwer zugänglichen Senke gehärtet werden. Laser werden deshalb eingesetzt, weil das Bauteil auch nach dem Härten noch maßgenau sein muss, denn eine Nachbearbeitung ist nicht möglich. Auf Grund der präzisen örtlichen und zeitlichen Kontrolle der Wärmeeinbringung können einbaufertige Teile bearbeitet werden. Zum Einsatz kommt ein 1 kW Diodenlaser von Roфин Sinar, der dank seiner sehr kompakten Abmessungen vollständig in die Anlagentechnik integriert wird. Mit der temperaturgeregelten Leistungssteuerung »LompocPro« lässt sich auch hier die Qualitätssicherung komplett über das System realisieren. Der Einsatz eines Diodenlasers macht aus technischen und wirtschaftlichen Gründen Sinn: Die Argumente sind deutlich geringere Investitionskosten, moderate Betriebskosten sowie die zur Oberflächenbearbeitung besonders geeignete Wellenlänge.

Inzwischen erfolgt die Bearbeitung auf fünf Laserhärteanlagen. Insgesamt 50 Millionen Teile wurden seit dem Produktionsstart 2004 mit dieser Technologie gehärtet.

- 1 *Laserstrahlgehärtete Turboladerwelle*
- 2 *Drehmaschine des Herstellers Benzinger mit integrierter Laseroptik im Antriebsraum*
- 3 *Blick in die Anlage zum Härten von Diesel-Injektoren, Hersteller Fa. SITEC, mit 1 kW Diodenlaser von Roфин Sinar und »LompocPro« des Fraunhofer IWS*



Verfahrens- und Systementwicklung zum Härten und Auftragschweißen im Werkzeugbau

Die populärste Anwendung von Hochleistungsdiodelnlasern zum Randschichthärten ist das Härten im Großwerkzeugbau. Der Laser ermöglicht, ein fertig zerspanntes Werkzeug partiell zu härten, ohne dass es zur Beseitigung des Verzugs nachbearbeitet werden muss. Damit steht es sofort nach dem Härten für die Produktion zur Verfügung. Zahlreiche Lohndienstleister setzen dieses Verfahren ein, ebenso wie die Werkzeugbauabteilungen der Automobilhersteller. Im Zusammenhang mit dem vom BMBF geförderten Projekt »Integrierte Härtereie« wurde 2005 bei der BMW Fahrzeugtechnik GmbH in Eisenach eine Portalanlage zunächst zur Demonstration installiert. Später wurde die Anlage für die Produktion optimiert und ist seitdem im Einsatz. Hier sind erstmalig ein kamerabasiertes Temperaturerfassungssystem sowie eine dynamische Strahlformung für Hochleistungs-Diodenlaser mit einem Scannerspiegel eingesetzt worden.

Im Auftrag der ALOtec Dresden GmbH hat das Fraunhofer IWS von 2004 bis 2009 roboterbasierte Anlagen zum Härten und Auftragschweißen bei Härtereie Gerster AG in Egerkingen (Schweiz), bei C. F. Monsano (Italien), EMO in Celjje (Slowenien), STAV in Barberino (Italien) sowie bei einem indischen Forschungsinstitut in Betrieb genommen. Die Anlagen wurden mit Systemkomponenten zur Qualitätssicherung der temperaturgeregelten Härte- und Laserauftragschweißprozesse ausgestattet. Die Lohndienstleister sowie die Firma ALOtec GmbH selbst nutzen die Anlagen unter anderem für das Härten von Werkzeugen oder sie sind im Kerngeschäft selbst Werkzeugbauer.

Beispiel: Werkzeugbau bei der Audi AG

Bei der Audi AG in Ingolstadt nahm 2010 eine roboterbasierte Laseranlage zum Bearbeiten von Schneid- und Umformwerkzeugen die Produktion auf, die im Zusammenwirken der KUKA Roboter GmbH mit dem Fraunhofer IWS Dresden erstellt wurde. Diese Anlage zum Laserstrahlhärten und -auftragschweißen ist auf die Neufertigung und Reparatur von Karosseriewerkzeugen zugeschnitten. Spezielle Systemkomponenten für die Strahlformung, Prozessregelung und Pulverzufuhr sowie Module für die Montage an der Roboterhand lieferte das Fraunhofer IWS. Darüber hinaus ermittelte das IWS Prozessparameter für unterschiedliche Applikationen und koordinierte die Inbetriebnahme der Systeme für die Prozesssteuerung. Dem positiven Beispiel folgte die Volkswagen AG. Eine Anlage mit vergleichbarer Funktionalität wurde 2012 am Standort Wolfsburg fertig gestellt.



Oberflächenschutz, Beschichten, Reparieren – flexible Reparatur von Triebwerkskomponenten

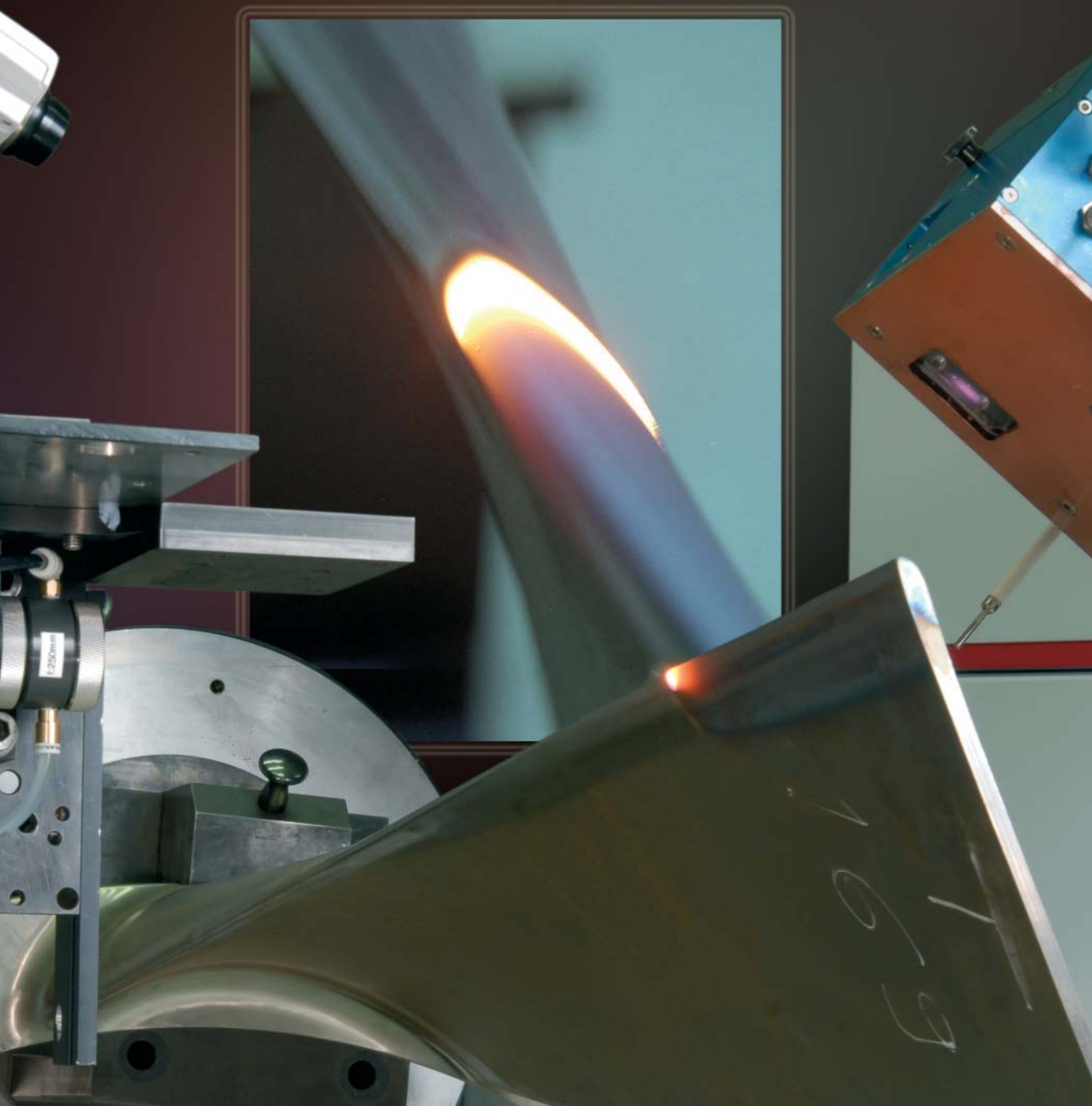
Zur Reparatur von komplex geformten und hochbeanspruchten Flugtriebwerkskomponenten ging im September 2010 eine automatisierte Laseranlage zum formgebenden Präzisions-Auftragschweißen bei MTU Aero Engines in München in den Serienbetrieb. Die Anlage ist mit einem brillanten Scheibenlaser zum Erreichen der höchsten Genauigkeit und Qualität des Materialauftrags ausgestattet. Während umfangreicher Forschungsarbeiten der IWS-Ingenieure in enger Kooperation mit ihren MTU-Kollegen wurden Prozesse für den defektfreien, zwei- und dreidimensionalen Materialauftrag bis zur Praxisreife entwickelt. Für den reaktiven Hochleistungswerkstoff Titan erstellten sie eigens eine prozessangepasste, geschlossene Schutzgaskammer. Das Prozess-Know-how sowie speziell entwickelte Schweißköpfe und die Mess- und Regelkomponenten »E-MAqS« und »LompocPro« wurden schließlich in das Anlagenkonzept integriert und die Inbetriebnahme dieser Maschine bis zum Serienanlauf von IWS-Spezialisten vor Ort betreut.

Neu in der Instandsetzung ist die sogenannte Adaption: Die Ist-Kontur jeder einzelnen Schaufel wird erfasst und mit der Nominalkontur verglichen und anschließend maßgeschneidert geschweißt. Dabei werden aus der gemessenen Geometrie ermittelte Prozessollwerte direkt an das Prozessregelsystem übergeben.

Nach Angaben der Firma MTU konnten die Prozesszeiten für eine typische Turbinenschaufelreparatur um rund 30 Prozent gesenkt werden.

- 1 Roboterbasierte Anlage zum Bearbeiten von Schneid- und Umformwerkzeugen bei Audi AG
- 2 Prozess des formgebenden Laser-Auftragschweißens an einem Umformwerkzeug aus Gusseisen
- 3 Laseranlage zum Auftragschweißen in der Triebwerksreparatur bei MTU Aero Engines, München

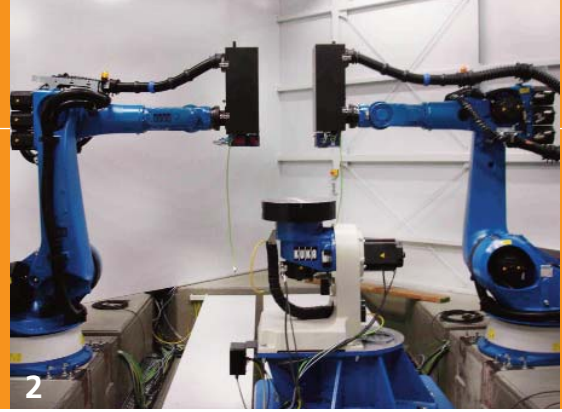
MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN
AUS DEM FRAUNHOFER IWS



LASER – DAS OPTIMALE WERKZEUG ZUR LEBENSDAUERSTEIGERUNG VON TURBINENSCHAUFELN

Seit mehr als einem Vierteljahrhundert arbeitet das IWS daran, mit lasergestützten Randschichtveredlungsverfahren den Verschleißschäden zu Leibe zu rücken, die kondensierte Wassertröpfchen bei Niederdruck-Laufschaufeln von Dampfturbinen verursachen. Die Wassertröpfchen zerstören die Eintrittskanten der Turbinenschaufeln, die auf einen Jahrzehnte dauernden Gebrauch ausgelegt sind. Die Folge ist ein beträchtlicher wirtschaftlicher Schaden. Mit dem Laserstrahlhärten mit flexibler Strahlformung haben die Wissenschaftler eine Lösung für Turbinenschaufeln aus martensitisch härtenden Stählen gefunden, die auch die sich ständig ändernde Schaufelgeometrie bewältigt. Das Ergebnis ist eine signifikant erhöhte Verschleißbeständigkeit und dank einer Härtezonenausbildung, die der starken Beanspruchung gerecht wird, eine deutlich höhere Lebensdauer.

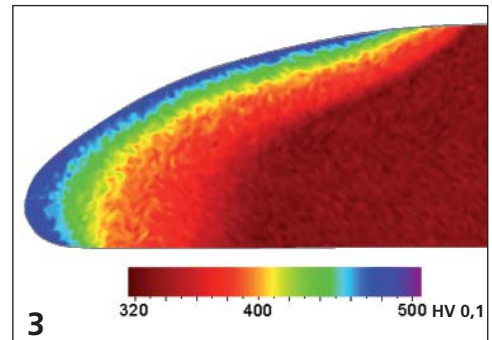
Auch die Frage, wie der energetische Wirkungsgrad von Dampfturbinen gesteigert werden kann, ist nach wie vor für das IWS aktuell. Die mechanischen Eigenschaften von martensitischen Stählen reichen indes nicht aus, um den Wunsch nach der Entwicklung von freistehenden, sehr langen Endstufenschaufeln ohne Dampfelemente und den Einsatz von Deckplattenschaufeln mit geringen Spaltverlusten zu realisieren. Das passende Material war bekannt, nämlich ausscheidungshärtbare Cr-Ni-Stähle. Ihr Einsatz jedoch erforderte die Entwicklung einer neuartigen lokal wirkenden Wärmebehandlungstechnologie für die Eintrittskante.



»Harte Randschicht – zäher Kern«

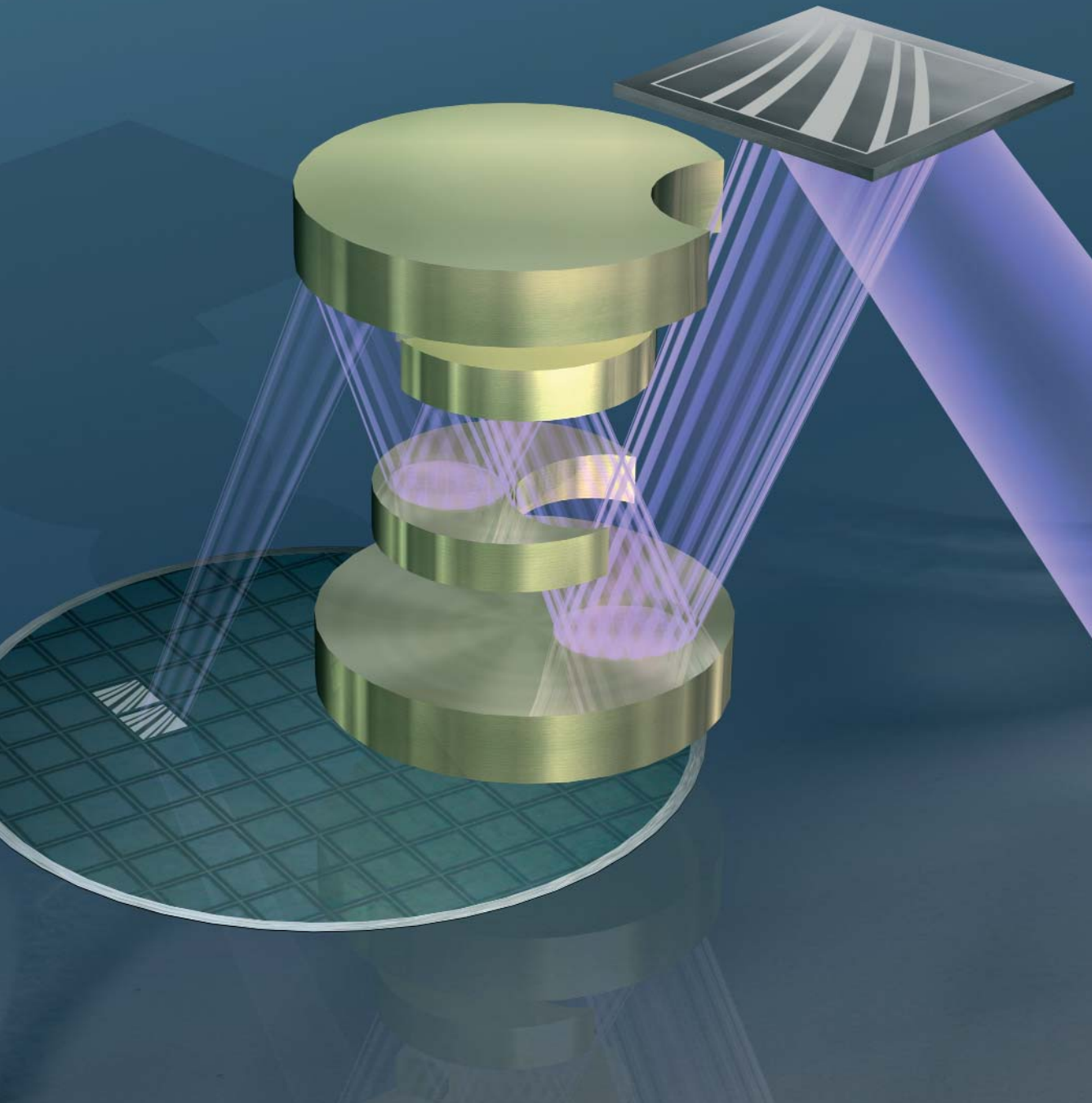
Zur Lösung dieses generellen Problems haben Forscher des Fraunhofer IWS ein neues lasergestütztes Verfahren zur lokalen Randschichtaushärtung gefunden, für das ihnen 2006 der Joseph-von-Fraunhofer-Preis verliehen wurde. Mit LaserstrahlLösungsglÜhen der Randschicht mit zwei zum Teil gleichzeitig arbeitenden Laserstrahlen und einer nachfolgenden Ausscheidungshärtung gelingt es, eine verschleißbeständigere und ermüdungsresistente Randschicht an den Stellen zu erzeugen, die am höchsten beansprucht werden. Es entsteht eine geometrisch optimal an die lokale Verschleißbelastung der Turbinenschaufel angepasste Härtezone. Im Kavitationsverschleißtest sinkt die Verschleißrate etwa auf ein Drittel. Zu Beginn des Jahres 2013 nahm das Fraunhofer IWS bei der Siemens AG in Mülheim/Ruhr eine komplexe roboterbasierte Anlage zur Laserbehandlung von Turbinenschaufeln in Betrieb und übergab damit diese Technologie in die Fertigungslinie des Kunden.

Nach dem Sammeln überzeugender Laufzeiterfahrungen bewähren sich etwa 34000 laserstrahlgehärtete und -ausscheidungsgehärtete Turbinenschaufeln in mehr als 180 Kraftwerken weltweit (Abb. 1). Die so ausgerüsteten Turbinenläufer haben eine längere Lebensdauer und weisen einen höheren elektrischen Wirkungsgrad auf.



- 1 Turbinenläufer einer Niederdruckstufe mit laserstrahl ausgehärteten Turbinenschaufeln
- 2 Roboterbasierte Anlage zur Laserbehandlung von Turbinenschaufeln bei der Siemens AG in Mülheim/Ruhr
- 3 Farbcodierte zweidimensionale Mikrohärteverteilung HV 0,1 einer laserstrahlgehärteten Turbinenschaufel

MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN
AUS DEM FRAUNHOFER IWS





REFLEXIONSSCHICHTEN FÜR DIE EUV-LITHOGRAFIE

Notebooks, Smartphones und Tablets werden vor allem daran gemessen, wie dünn, leistungsfähig und ausdauernd sie sind. Der gegenwärtige Boom wurde möglich, weil es seit den 1960er Jahren gelingt, dem sogenannten Mooreschen Gesetz zu folgen. Dieses besagt, dass sich die Dichte der Halbleiterstrukturen auf einem Chip alle 18 bis 24 Monate verdoppelt. Dadurch lassen sich die Funktionalitäten von Halbleiterbauteilen auf immer kleinerem Raum und mit sinkendem Energieverbrauch realisieren. Damit dieser »Roadmap« auch in Zukunft gefolgt werden kann, müssen Technologien entwickelt und in die Produktion überführt werden, die das »Drucken« weiter verkleinerter Strukturen ermöglichen. Das »Drucken« der Strukturen erfolgt mittels lithografischer Prozesse, bei denen das Abbild einer Vorlage, der Maske, verkleinert auf Siliziumwafern abgebildet und entwickelt wird.

Der entscheidende Unterschied zwischen den bisher verwendeten lithografischen Techniken und der EUV-Lithografie (EUV = Extremes Ultraviolett) ist die Tatsache, dass aufgrund der Verkleinerung der Wellenlänge auf 13,5 nm keine Linsenmaterialien existieren, die ausreichend transparent sind. Da selbst Luft schon eine zu hohe Absorption aufweist, muss der Belichtungsprozess im Vakuum und unter Einsatz von Spiegeln erfolgen.

Damit die Spiegel die bestmögliche Reflexion erreichen, müssen periodische Nanometer-Multischichten mit höchster Präzision auf hochpolierten Glaskörpern aufgebracht werden. Auch dazu sind Hochvakuumprozesse erforderlich, wobei im Fraunhofer IWS die Technologie der Magnetron-Sputter-Deposition (MSD) bereits seit einigen Jahren erfolgreich für derartige Beschichtungen genutzt wird. Auf vergleichsweise kleinen Flächen (Substratdurchmesser 150 bis 200 mm) konnten exzellente Resultate erzielt werden, die kürzlich gemeinsam mit einem deutschen Anlagenbauer auf Großflächenbeschichtungsanlagen übertragen wurden.



Industrielle Beschichtungsanlage für großflächige Substrate

In einer IWS-Pilotanlage wurde der Nachweis der Kennwerte auf Substraten mit Durchmessern bis 150 mm erbracht. Um die Technologie für die Beschichtung von realen EUV-Spiegeln nutzen zu können, wurde eine Skalierung auf deutlich größere Substratflächen erforderlich. Gemeinsam mit der Firma MicroSystems GmbH erfolgte die Entwicklung des Anlagentyps MS2000 und der zugehörigen Prozesse für die hochpräzise Beschichtung von Spiegelsubstraten mit Durchmessern von bis zu 670 mm. Die Anlage ist mit sechs Beschichtungsquellen ausgestattet, wodurch eine effektive Abscheidung der Schichten möglich ist. Die ausgezeichnete Skalierbarkeit der MSD ermöglicht nun Präzision im Pikometerbereich.

Die auf einem Durchmesser von 450 mm nachgewiesene Homogenität der Schichtdicken liegt oberhalb von 99,9 Prozent, das heißt, die Dickenfehler einer Multischicht mit 7 nm Periodendicke betragen weniger als 7 pm. Ein für die Produktion wichtiges Kriterium ist darüber hinaus, die hohe Schichtqualität reproduzierbar zu erreichen, was eindrucksvoll nachgewiesen wurde.

Es sind bereits mehrere Anlagen gebaut worden, wobei die damit hergestellten optischen Elemente unter anderem in Messgeräten für die Analytik sowie in Lithographiesystemen der Mikroelektronik zum Einsatz kommen.

- 0 Schematische Darstellung der Belichtung von Halbleiterstrukturen bei der EUV-Lithografie
- 1 Beschichtetes Spiegelpaar (Schwarzschildobjektiv)
- 2 MSD-Beschichtungsanlage MS2000, die von der MicroSystems GmbH vertrieben wird und auf der ein am IWS entwickelter Beschichtungsprozess läuft

MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN
AUS DEM FRAUNHOFER IWS





LASER-ARC-MODUL UND DIAMOR®-VERSCHLEISSSCHUTZSCHICHTEN

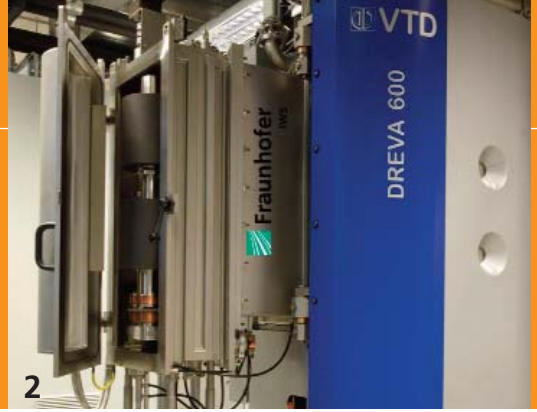
Die Themen Energieeffizienz und Verminderung von CO₂-Emissionen durch geringeren Kraftstoffverbrauch haben diamantähnlichen Kohlenstoffschichten, Diamond-Like-Carbon, kurz DLC genannt, zu neuem Auftrieb verholfen. Immerhin sind bei entsprechender Beschichtung von Motor- und Getriebekomponenten Kraftstoffeinsparungen von bis zu zehn Prozent möglich.

Als Schutzschicht für Werkzeuge, Komponenten und Bauteile bietet DLC eine einzigartige Kombination aus hoher Härte, niedriger Reibung und geringer Klebeneigung. DLC-Schichten schützen damit vor Verschleiß und sind zugleich als reibungsmindernde Überzüge unter schlecht geschmierten oder sogar trockenen Bedingungen hervorragend geeignet.

Unter der Vielfalt an DLC-Schichttypen gewinnt eine neue Generation, die so genannte ta-C-Schicht (tetraedrischer amorpher Kohlenstoff), an Bedeutung. Die ta-C-Schichten bestehen zu hundert Prozent aus Kohlenstoff und besitzen eine um den Faktor zwei bis drei höhere Härte als die klassischen, wasserstoffhaltigen DLC-Schichten. Es eröffnen sich neue Möglichkeiten für eine lebensdauerbeständige Beschichtung von Oberflächen selbst unter extremen Belastungsbedingungen. Wissenschaftler des IWS haben mit der Diamor®-Beschichtung (= Diamant + amorph) ein Schichtsystem auf ta-C-Basis entwickelt, das sich in einem weiten Schichtdickenbereich auf nahezu beliebige Werkzeuge und Komponenten aufbringen lässt.

0 Mit Diamor® beschichtete Getriebeteile

1 Laser-Arc-Modul des Fraunhofer IWS zur Abscheidung von ta-C-Schichten



Laser-Arc-Modul zur industriellen Herstellung von ta-C-Schichten

Die effiziente Herstellung von ta-C-Schichten mit hohem Diamantbindungsanteil gelingt nur über Vakuumbogenverdampfung (Arc) von Grafit. Dem Fraunhofer IWS ist es mit Einführung eines laser-gesteuerten Vakuumbogens gelungen, eine dauerstabile Abscheidung von ta-C-Schichten mit hoher Beschichtungsrate zu erreichen.

Für eine breite industrielle Anwendung hat das IWS die Laser-ArcoTM-Technologie in einem Modul-Konzept umgesetzt. Das entwickelte Laser-Arc-Modul (LAM) kann über einen standardisierten Rechteckflansch an jeder handelsüblichen Vakuum-Beschichtungsanlage installiert bzw. nachgerüstet werden. Nach Erprobung dieses Systems in Anlagen des Fraunhofer IWS und mehreren industriellen Anlagen, wie der Beschichtungsanlage DREVA 600 der VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH, konnten mittlerweile mehrere Gesamtanlagen mit LAM an Kunden in der Automobil-Zulieferindustrie und aus anderen Bereichen übergeben werden.

Die neueste LAM-Generation für eine Beschichtungshöhe von 500 mm erhält als Zusatzoption einen Plasmafilter zur Abtrennung von Makropartikeln aus dem Beschichtungsplasma und erlaubt damit die Abscheidung sehr glatter ta-C-Schichten. Dieses System wurde ebenfalls bereits in mehreren Beschichtungsanlagen vom Typ DREVA 600 der Firma VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH erfolgreich installiert. Das Gesamtsystem LAM 500 + DREVA 600 mit der Zusatzoption Plasmafilter wird inzwischen als Kompletanlage angeboten und aktuell in die industrielle Anwendung überführt.



Diamor®-Schichten zur Leistungssteigerung von Komponenten und Werkzeugen

Das in industriellen Tests erprobte Anwendungsspektrum von Diamor®-Schichten reicht von ultradünnen Präzisionsschichten bis hin zu mehrere Mikrometer dicken Schutzschichten für stark belastete Gleitkomponenten und Werkzeuge. Ein Beispiel dafür ist die Anwendung Diamor®-beschichteter Zahnräder in Getrieben der Fa. HarmonicDrive für spezielle Werkzeugmaschinen in schmierstoffkritischen Umgebungen. Mit der Diamor®-Schicht gelang es, auf eine Schmierung des Getriebes vollständig zu verzichten. Das System wurde bereits erfolgreich im industriellen Dauereinsatz erprobt.

Beispiel: ta-C beschichtetes Messer der Firma Nesmuk

Ein anschauliches Anwendungsbeispiel ist die Einführung eines ta-C beschichteten Messers der Firma Nesmuk. Durch die einseitige Beschichtung der Schneide erhält das inzwischen im Handel erhältliche Nesmuk-Diamor® Messer eine lebenslange Schärfe­garantie. Auch bei der Zerspanung von Holzwerkstoffen, faserverstärkten Kunststoffen und Aluminium sowie bei der Umformung von Aluminium hat sich eine Diamor®-Beschichtung der Werkzeuge hervorragend bewährt.



- 1 Laser-Arc-Modul LAM 500 an einer PVD-Beschichtungsanlage der Fa. VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH
- 2 Neueste Generation LAM 500 mit Plasmafilter
- 3 Zahnräder der Fa. HarmonicDrive mit Diamor®-Beschichtung
- 4 Erfolgreiche Überführung in die Kleinserie bei KVT Kurlbaum GmbH: thermisch gespritzte Hartmetallschicht der Kugel eines Kugelventils, zusätzlich mit einer reibungsmindernden Diamor®-Deckschicht beschichtet

MODERNE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN
AUS DEM FRAUNHOFER IWS





KULTURGÜTER REINIGEN UND WIEDER SICHTBAR MACHEN

Ein Ausflug weg von der Industrie hin zu den schönen Künsten: Die Tatsache, dass sich Laserstrahlen ausgezeichnet zur Reinigung von Materialien eignen, indem sie unterschiedlich dicke Materialschichten im Sub-Millimeter-Bereich abtragen, macht sie auch zum Partner von Restauratoren. Gearbeitet wird mit sehr kurzen Laserimpulsen mit hoher Energie. Je nach Einstellung können unterschiedliche Ziele erreicht werden: eine formgebende Bearbeitung, die rutschhemmende Ausrüstung von polierten Natursteinoberflächen oder die Laserreinigung verschiedenster Oberflächen. Besonderer Vorteil dieser Methode ist, dass der Laser seine Arbeit selbstregulierend abbricht, wenn das Grundmaterial erreicht ist, falls es transparent oder reflektierend gegenüber der abzutragenden Deckschicht ist.

Die berührungslose Arbeitsweise, die Selbstbegrenzung und die sehr feinfühlig regulierbare Intensität der einwirkenden Laserstrahlen in Verbindung mit der in der Regel geringen »Tiefenwirkung« sind die wesentlichen Merkmale und Vorteile des Laserreinigens. Das Fraunhofer IWS kann auf mehr als 15 Jahre Erfahrung und Applikationen sowohl im industriellen Umfeld als auch im Bereich der Restaurierung und Pflege von Kulturgütern verweisen.

- 0 Vorversuche bei der Restaurierung eines Wandgemäldes ,helle Flächen sind gereinigt
- 1 Durch Laserformabtrag hergestelltes Sächsisches Staatswappen
- 2 Restaurierte Bronzestatue: Die Freilegungen der geschlossenen Patinaflächen im gesamten Brust- und Schulterbereich sind mit dem Laser realisiert worden.



Laserstrahlreinigen in der Denkmalpflege

Die ersten Erfolge wurden in den 1990er Jahren bei der Behandlung von Statuen aus Kalk- und Sandstein erzielt. Die meist schwarzen, durch verschiedene Umwelteinflüsse entstandenen Ablagerungen wurden mit kurzen Laserimpulsen schlagartig verdampft. Die dunkle Oberfläche absorbiert das Licht, die darunterliegenden Schichten streuen oder reflektieren es. Die berührungslose Arbeitsweise des Lasers macht das Laserreinigen insbesondere bei stark geschädigten und formkomplizierten Oberflächen attraktiv. Bei Skulpturen aus Metall ist das schon schwieriger, wurde aber von den Forschern des Fraunhofer IWS gemeistert, wie die Reinigung einer Bronzestatue Johannes Bugenhagens in Wittenberg oder Victor Aimé Hubers in Wernigerode 1997 zeigen. Mit dem Werkstoff Holz wurden ebenfalls beste Ergebnisse erzielt, was die Restaurierung der Bohlenstube des Tetzels Hauses in Pirna von 1994 bis 1998 belegt.

Beispiel: Reinigung einer ägyptischen Grabkammer

2006 wurde der Laser im Auftrag der Restauratoren des Neferhotep e.V. zur Reinigung einer ägyptischen Grabkammer eingesetzt. Damit konnte eine neue Herausforderung, nämlich die Reinigung von Wandmalereien, die aus ganz unterschiedlichen Farbstoffen bestanden, in Angriff genommen werden. Durch Einstellung der Abtragsparameter wie Pulsenergie, Repetitionsrate und Laserstrahlgeschwindigkeit auf der Wand gelang es, mit dem mobilen Gerät der Firma »Clean Lasersysteme« den Schmutz zu entfernen, Farbe und Untergrund jedoch zu erhalten.

Beispiel: Wandbild »Einzug von Jerusalem« in der Stadtkirche St. Martin in Meerane

Eine weitere Bewährung der Lasertechnik im Denkmalbereich war die Restaurierung des 1906 von dem Dresdner Kunstmaler Karl Schulz geschaffenen Triumphbogenbilds »Der Einzug Jesu in Jerusalem« in der Meeraner Kirche St. Martin. Die Vorversuche zum Abtrag von Schmutzschichten am Wandbild führten zu der Empfehlung, das komplette Wandbild mit Laser zu reinigen. Dabei erwies sich die Vielzahl von Farbvarianten mit unterschiedlichen und teilweise unbekannten Pigmenten als besonders anspruchsvoll. Die Freilegung der originalen Farbfassung von 1906 gelang mit Hilfe eines mobilen, auf dem Gerüst stehenden gepulsten Festkörperlaser, dessen Energiedichte variabel je nach Untergrund, Farbe und zu reinigendem Bereich eingestellt werden konnte.



2



3

Mobile Laserstrahlreinigung

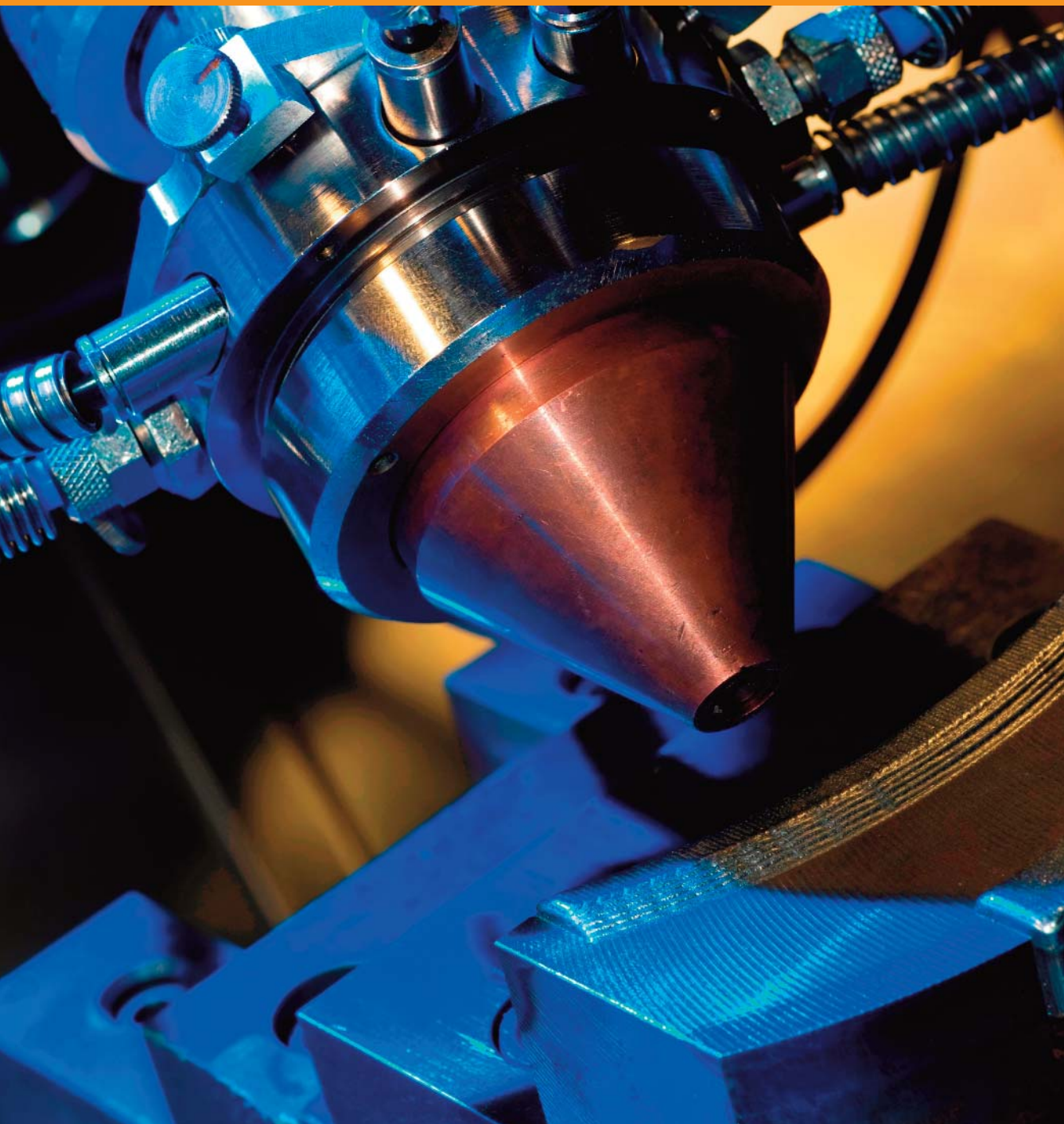
Die Verfügbarkeit leistungsfähiger gepulster Faserlasersysteme mit hoher Parameterstabilität und geringem Gewicht ermöglichen die Umsetzung von luftgekühlten, kompakten und mobilen Anlagenkonzepten für die Reinigung und Restauration. Das Fraunhofer IWS hat eine Anlage entwickelt, die komfortabel für Restaurierung bis Bauteilreinigung geeignet ist. Durch die Integration eines Scanners im leichten und kompakten Handstück wird die freie Strahlablenkung in einem Arbeitsgebiet von $100 \times 100 \text{ mm}^2$ möglich. Die Anzeige des Arbeitsfeldes wird mit einem Laserpointer gewährleistet. Die Pulsfolge ist in Abhängigkeit der Applikation von Einzelschuss bis 550 kHz frei wählbar.

Körperscanner für Kunstwerke

Übermalte Wandgemälde, besonders in Kirchen, galten lange Zeit als unwiederbringlich verloren. Mit Terahertz-Strahlen wollen Forscher die Originalmalereien jetzt zerstörungsfrei »enthüllen«. Ein Femtosekundenlaser erzeugt kurze elektromagnetische Pulse mit einer Dauer von ein bis zwei Picosekunden. Jede Schicht und jedes Pigment reflektiert diese Pulse anders, so dass sowohl ein Bildkontrast als auch eine Tiefeninformation gewonnen werden kann. Die Messergebnisse geben beispielsweise Auskunft über die Dicke der Schichten, um welche Pigmente es sich handelt und wie die Farben angeordnet sind. Eine eigens entwickelte Software setzt die Messergebnisse zu einem Bild zusammen, das die Struktur der verborgenen Malereien anzeigt.

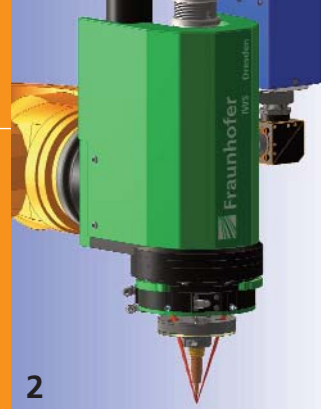
- 1 *Laserreinigen des Wandgemäldes »Einzug von Jerusalem« in der Stadtkirche St. Martin in Meerane*
- 2 *Mobile Laserreinigungsanlage MCL-1064 des Fraunhofer IWS im Einsatz*
- 3 *THz-TDS-Scan einer verborgenen Wandmalerei in der Kirche Beesdau*

SYSTEMKOMPONENTEN FÜR FLEXIBLE
UND ZUVERLÄSSIGE FERTIGUNGSPROZESSE





1



2

KOMPONENTEN ZUM LASER-AUFTRASCHWEISSEN UND GENERIEREN

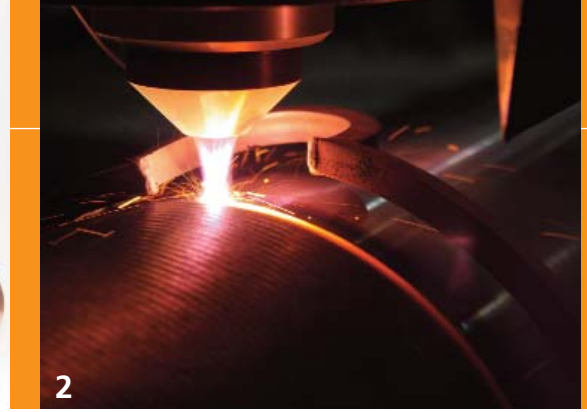
Leistungsfähige und robuste Systemtechnik bildet die Voraussetzung dafür, dass die beschriebenen Beschichtungen, Reparaturen und Designänderungen von langlebigen und komplexen Bauteilen und Werkzeugen gelingen. Eine Schlüsselfunktion bei der Anwendung in der industriellen Praxis haben hierbei die Laser-Bearbeitungsköpfe, die neben der Ausrichtung und Formung des Laserstrahls insbesondere auch die präzise Pulver- und Drahtzufuhr gewährleisten müssen. Mit dem modularen Pulverdüsensystem COAXn und dem neuen Koaxial-Bearbeitungskopf mit zentrischer, richtungsunabhängiger Drahtzufuhr stehen im Ergebnis umfangreicher IWS-Entwicklungsarbeiten Werkzeuge zur Verfügung, die zusammen mit der entsprechenden Lasertechnik problemlos in Werkzeugmaschinen und Robotersysteme integriert werden können.

Einen wesentlichen Teil der Prozessvorbereitung nimmt die Programmierung der Beschichtungsbahnen entsprechend der optimalen Auftragschweißstrategie ein. Für die Offline-Programmierung komplizierter Geometrien an Komponenten von Triebwerken, Turbinen, Motoren, Formen und Werkzeugen wird die am Fraunhofer IWS mitentwickelte Software DCAM der Firma SKM genutzt. Das Programm ermöglicht das Generieren von Einzelspuren, Konturen, Flächen und beliebigen Volumenelementen auf ebenen, aber auch auf gekrümmten Oberflächen. Zur Simulation von Bearbeitungsprozessen wurde außerdem am Fraunhofer IWS ein Modell entwickelt, das 1D-, 2D- oder auch 3D-Berechnungen von einzelnen Schweißraupen bis zu vielspurigen Schweißstrategien vornehmen kann.

0 Modulares Pulverdüsensystem COAXn

1 COAX8: An dieser Ringspalt-Pulverdüse wird am Düsenausgang ein hohlkegelförmiger Pulverstrom gebildet, der koaxial zum Laserstrahl auf das Werkstück gerichtet ist.

2 Koaxiale Strahlteiler-Bearbeitungsoptik zum generativen Laser-Draht-Auftragschweißen



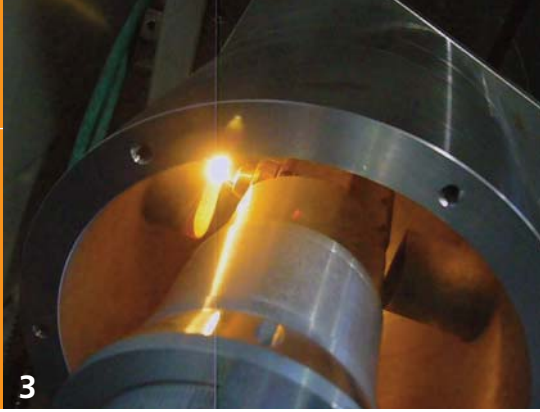
Baukastensystem COAXn

Je nach Lasertyp und Bearbeitungsaufgabe kann aus dem modularen System COAXn flexibel und schnell ein geeigneter Auftragschweißkopf zusammengestellt werden, zugeschnitten auf Kriterien wie Werkstückgeometrie, Zugänglichkeit, Schichtwerkstoff, Genauigkeit und Auftragsrate. Je nach Anwendung können die Düsen entweder auf die höchste Präzision des Werkstoffauftrags oder die höchste Produktivität hin konfiguriert werden.

Speziell für 3D-Anwendungen steht der Koaxial-Bearbeitungskopf COAX12 zur Verfügung. Statt eines Ringspaltes übernehmen hier vier separate Pulverkanäle die Pulverstrahlformung zum Arbeitspunkt. Auf diese Weise ist der Pulverstrom nahezu unabhängig von der Schwerkraft, und es sind beliebige Schweißpositionen mit geschwenkter und auch während des laufenden Prozesses um alle Achsen bewegter Düse möglich.

COAXpowerline

Für Großflächenbeschichtungen zum Beispiel von großen Hydraulikzylindern ist der Hochleistungsbearbeitungskopf COAXpowerline entwickelt worden. Dieser Laser-Bearbeitungskopf ist optimiert für höchste Auftragsraten, die mit induktiver Unterstützung bis zu 18 kg/h Metallpulver betragen können. Auch dieser Kopf ist modular aufgebaut und lässt sich mit unterschiedlichen Laseroptiken und Induktionsmodulen kombinieren. Neben den hohen Auftragsraten ermöglicht diese Hybrid-Konfiguration auch den defektfreien Auftrag besonders harter und damit rissempfindlicher Metalllegierungen und Verbundmaterialien. Zur Qualitätssicherung kann der Bearbeitungskopf mit dem IWS-Temperaturregelsystem E-MAqS versehen werden.



Innenbeschichtungskopf COAX_{ID}

Mit dem modularen Innenbeschichtungssystem COAX_{ID} gelingt das richtungsunabhängige Auftrag-schweißen komplexer, tiefliegender Innenkonturen. Selbst 3D-Struktur-Beschichtungen in horizontaler Schweißposition können auf einer Innenwand problemlos mit der Bearbeitungsoptik verwirklicht werden. Ein stabiler, ununterbrochener Betrieb, auch bei rotationssymmetrischen Innenflächen, konnte bisher für Bearbeitungszeiten von mehr als einer Stunde nachgewiesen werden. Bei Spurbreiten bis 4 mm ist jetzt, komplett wassergekühlt, eine unterbrechungsfreie Bearbeitungszeit über Stunden mit Förderraten von 0,6 bis 1,2 Kilogramm pro Stunde möglich. Dabei kommen Nd:YAG- oder Scheibenlaser zum Einsatz.

Präzisionstechnologie zum Auftragschweißen mit zentrischer Drahtzufuhr

Verschiedene neue Anwendungsgebiete des Laser-Auftragschweißens erfordern die Zufuhr von Drähten alternativ zu Pulvern als Schweißzusatz. Die drahtbasierten Auftragschweißprozesse sind sauber, das Drahtmaterial wird immer zu einhundert Prozent ausgenutzt, und bei bestimmten Metallegierungen ergeben sich signifikante Eigenschaftsvorteile der aufgetragenen Metallstrukturen. Die bisherigen Lösungen der seitlichen Drahtzufuhr in den Laserbrennfleck limitieren jedoch entscheidend Zugänglichkeit und Geometriefreiheit bei realen Bauteilen. Die neu entwickelte Laser-Bearbeitungsoptik mit zentrischer Drahtzufuhr verbindet nunmehr intelligent die Vorteile der Drähte mit der Richtungsunabhängigkeit, die bisher nur pulverförmigem Schweißgut vorbehalten war. Somit erweitert sich das Anwendungsgebiet des automatisierten Laser-Draht-Auftragschweißens vorteilhaft auf komplexe Konturbeschichtungen sowie die generative Fertigungstechnik. Ebenso sind präzise Flächenbeschichtungen mit besonders guter Oberflächenqualität herstellbar.

- 1 *Bearbeitungskopf COAXpowerline der neuen Generation: kompakter Aufbau mit innenliegender Medienzufuhr für hochproduktive Flächenbeschichtungen*
- 2 *Prozess des induktiv unterstützten Hochleistungs-Laser-Auftragschweißens mit COAXpowerline*
- 3 *Beschichtungsprozess mit Innenbeschichtungskopf COAX_{ID}*
- 4 *Prozess des generativen Laser-Draht-Auftragschweißens mit Koaxial-Draht-Bearbeitungskopf*



Anwendungsbeispiele

Lasertechnische Beschichtungsverfahren besitzen eine Schlüsselposition in modernen Fertigungs- und Instandsetzungsprozessen der Luftfahrtindustrie, der Energieerzeugung sowie des Formen- und Werkzeugbaus. Weitere Anwender dieser Technologie sind die Öl- und Erdgas-Förderung, Bergbau und Metallurgie/ Metallumformung, aber auch Laser-Lohnfertiger sowie Universitäten und Forschungseinrichtungen.

Robotersystem zum hochproduktiven Auftragschweißen von Werkzeugen der Bergbauindustrie (Abb. 1), ausgerüstet mit:

- Bearbeitungskopf COAXpowerline
- E-MAqS-System
- IWS-Technologiebausteinen zum Laser-Auftragschweißen

CNC-Maschinensystem zum direkten Generieren metallischer Prototypen und Bauteile in Kooperation mit Maschinenfabrik ARNOLD GmbH & Co.KG (Abb. 2), ausgerüstet mit:

- Bearbeitungskopf COAX9
- E-MAqS-System
- IWS/SKM-DCAM-Softwarepaket
- IWS-Technologiebausteinen zum generativen Laser-Auftragschweißen (DMD: Direct Metal Deposition)
- IWS-Technologiebausteinen zum Generieren von Titan-Strukturen in geschlossener Inertgasatmosphäre

Seit Beginn der Entwicklung solcher Systeme vor etwa zehn Jahren wurden insgesamt 140 Bearbeitungsköpfe bei Kunden in Australien, Europa, China, Indien, Nordamerika, Russland und natürlich im Inland installiert.

1 *Robotersystem der Fa. REMKON Kattowitz, Polen mit IWS-Bearbeitungskopf COAXpowerline, Ausführungsbeispiel mit kamerabasiertem Temperaturregelsystem*

2 *CNC-Maschinensystem mit integrierten Systemkomponenten des IWS, Anwender: CAMT, Breslau, Polen*

SYSTEMKOMPONENTEN FÜR FLEXIBLE
UND ZUVERLÄSSIGE FERTIGUNGSPROZESSE



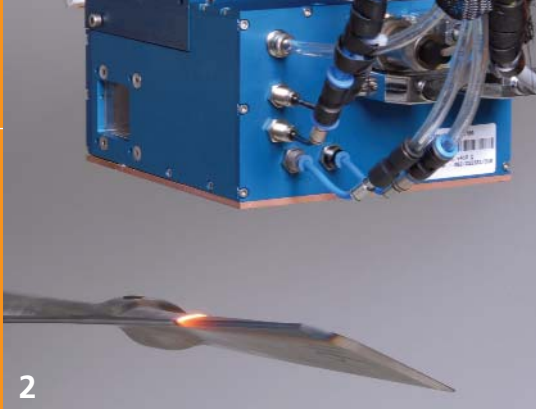


KOMPLIZIERTE LASERPROZESSE EINFACH ÜBERWACHEN, STEUERN UND REGELN

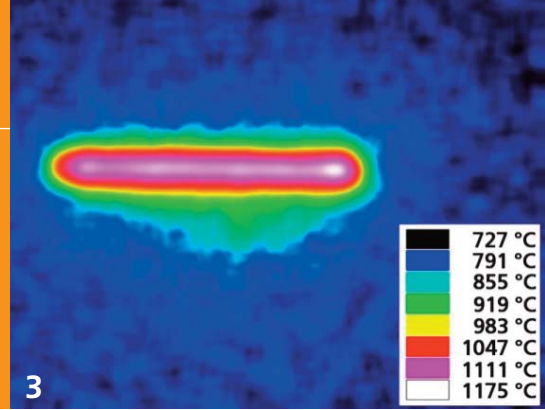
Dass das Fraunhofer IWS erheblich an der Entwicklung und Verbreitung des Laserhärtens und -Auftragsschweißens für die industriellen Praxis beteiligt ist, steht außer Frage. Noch hinzu kommt, dass das IWS die entsprechende spezielle Systemtechnik erarbeitet hat. Damit können die meist komplizierten Prozesse einfach überwacht, gesteuert oder geregelt und den Erfordernissen der jeweiligen Anwendung angepasst werden. Die Komponenten werden ständig optimiert und auf neue Kundenanforderungen zugeschnitten. Mit den IWS-Mess- und Regelsystemen haben die Anwender Werkzeuge zur Hand, die höchste Präzision und Modularität versprechen.

Dynamisches Strahlformungssystem »LASSY«

Um unter anderem beim Härten flexibel auf verschiedene Bauteilgeometrien reagieren zu können, hat das Fraunhofer IWS Dresden das dynamische Strahlformungssystem »LASSY« für den industriellen Einsatz von Hochleistungsdiodenlasern entwickelt. Damit gelingt es zum Beispiel, eine gleichmäßige Härtetiefe trotz lokal unterschiedlicher Bauteildicke zu erzeugen. In Gebrauch ist das System bei Laserrandschichtveredelungsverfahren wie Laserstrahlhärten, -umschmelzen oder -legieren.



2



3

Variable Softwareregung lasertronic®»LompocPro«

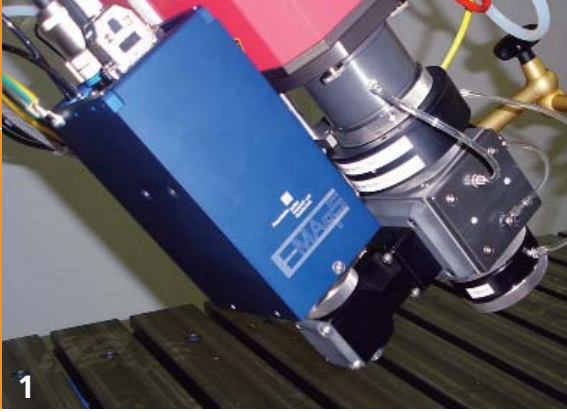
Ein der jeweiligen Nutzung variabel angepasster Software-Regler »LompocPro« (Laser online monitoring power control Program) bildet die Basis der IWS-Mess- und Regelsysteme. Je nach Fall können verschiedene Temperaturerfassungssysteme angeschlossen werden, womit sich »LompocPro« zur Temperaturregelung für eine Anzahl von Laserverfahren, wie Laserhärten, -löten, -glühen und Laser-Auftragschweißen eignet. Besonders geeignet ist die Software aus dem Fraunhofer IWS für die Regelung schneller Prozesse.

Eine leichte Bedienung und die Automatisierbarkeit von komplexen Wärmebehandlungsprozessen wird unter anderem durch folgende Parameter gewährleistet:

- Flexibilität durch individuelle Einstellung des Regelverhaltens,
- graphische Darstellung aller Prozessdaten während des Prozesses,
- permanente Sicherung aller eingestellten Parameter,
- Kommunikation mit Maschinensteuerungen über Profibus,
- benutzerdefinierte Schnittstellen zu Temperaturmessgeräten.

Die erste Anwendung fand das System 1999 in einer Lohnhärteanlage der Fa. ALOtec Dresden GmbH. Seitdem wurde »LompocPro« kontinuierlich weiterentwickelt und hat sich neben der Prozessregelung auch bei der Prozessüberwachung, Sicherung der Prozessdaten und Qualitätsdokumentation in mehr als 80 vor allem industriellen Applikationen bewährt.

- 0 Bedienstand einer Laserauftragschweißanlage mit integrierter Prozessregelung »LompocPro«
- 1 Laserhärteprozess am Kopf einer Hauptantriebsspindel
- 2 Laserstrahlhärten einer Dampfturbinenschaufel mit dynamischer Strahlformungseinheit »LASSY«
- 3 Wärmeleitbild eines Härteprozesses



»LasMon« - Analyse geformter Laserstrahlen

Das Messsystem zur Strahlanalyse für große Laserstrahlflecken »LasMon« dient der Qualitätskontrolle von Laserquellen und Laseroptiken. Herkömmliche Strahldiagnosegeräte sind entweder nicht in der Lage, mehrere Quadratmillimeter große Laserstrahlflecke zu vermessen oder können dies nicht bei hohen Laserleistungen im kW-Bereich. Mit diesem Gerät ist es einfach möglich, gescannte oder anderweitig geformte Laserstrahlen mit einer Leistung bis 10 kW zu analysieren. Damit wird eine sichere Prozessführung sowie ständige Kontrolle des Laserstrahls vor oder während des Prozesses möglich. Neben der Analyse von Laserquellen und -optiken kann »LasMon« als Justagehilfe für Scannerantriebe und andere Strahlformungen, zur Optimierung der Leistungsdichteverteilung geformter Laserstrahlen sowie zur Ermittlung von Grundlagen für die Simulation der Wärmeleitung oder von Laserprozessen genutzt werden.

Temperaturerfassungssystem »E-MAqS«

»E-MAqS« ist ein kamerabasiertes Temperaturerfassungssystem für anspruchsvolle Messaufgaben. IWS-Wissenschaftler entwickelten es als ortsauflösend messende und zugleich preiswerte Alternative zu herkömmlichen Thermografiesystemen. Das System »E-MAqS« wird in der Regel in Kombination mit dem Temperaturregelsystem »LompocPro« eingesetzt. Eine Hauptanwendung ist das Laserstrahlhärten. Aber auch für das Laser-Auftragschweißen wird das Messsystem »E-MAqS« bereits industriell genutzt. Da die Signal- und Bildauswertung einfach und flexibel an die Aufgabenstellung des Kunden angepasst werden kann, sind auch andere Anwendungen für Temperaturen ab 600 °C, wie beispielsweise Wärmeleitungsschweißen oder Löten, realisierbar.



2



3

Schnelle Temperaturerfassung mit »E-FAqS«

Für Hochgeschwindigkeitsprozesse bietet der Systembaukasten des Fraunhofer IWS das schnelle Pyrometer »E-FAqS« an. Dieses Gerät ist in der Lage, mit Abtastzeiten von weniger als 30 μ s Temperaturen ab etwa 160 °C zu erfassen. Während »E-MAqS« bisher vorwiegend beim Laserstrahlhärten und Auftragschweißen eingesetzt wird, kommt das wesentlich schnellere »E-FAqS« inzwischen mehrfach in industriellen Anlagen zum Weichlöten zum Einsatz. »E-FAqS« eignet sich auch zum Laserglühen und Kunststoffschweißen. Das gesamte Mess- und Regelsystem ist kompakt und industrietauglich in den Maschinenkörper integriert.

Beispiel: Laserlöten von Solarzellen

In enger Zusammenarbeit mit der Firma teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH in Freiberg am Neckar hat das Fraunhofer IWS das System »E-FAqS« zum Laserlöten von Solarzellen qualifiziert. Seit 2008 wird es in der industriellen Massenproduktion eingesetzt. Eine Besonderheit der Laserlötanlagen von teamtechnik ist, dass sowohl Standard- als auch Rückseitenkontakt-Solarzellen gelötet werden können und kurze Taktzeiten von drei beziehungsweise vier Sekunden je Zelle erreicht werden. Die Anlagen wurden modular konzipiert, so dass verschiedene Lötprozesse und weitere Module zur Solarzellen-Behandlung integriert werden können. Das ist insofern von Bedeutung, als die dynamischen Entwicklungen in der Photovoltaik etwa durch neue Halbleitermaterialien oder neue Schichtaufbauten schnelle Reaktionsmöglichkeiten der Anlagentechnik erfordern.

Neben der Prozessentwicklung durch das Fraunhofer IWS kamen von 2007 bis 2012 in zehn Anlagen insgesamt 30 »E-FAqS«-Systeme zum Einsatz. In Summe wurden in den vergangenen Jahren weltweit mehr als 170 Systemkomponenten zur Prozessüberwachung, -regelung und Qualitätssicherung aus dem Fraunhofer IWS vor allem in Industrieanlagen erfolgreich eingesetzt.

- 1 Kamerabasiertes Temperaturerfassungssystem »E-MAqS«
- 2 Schnelles Mess- und Regelsystem »E-FAqS«
- 3 Laserlötanlage der Fa. teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH in Freiberg a. N.

SYSTEMKOMPONENTEN FÜR FLEXIBLE
UND ZUVERLÄSSIGE FERTIGUNGSPROZESSE





INNOVATIVE MESSSYSTEME ZUR QUALITÄTSSICHERUNG IN INDUSTRIE UND FORSCHUNG

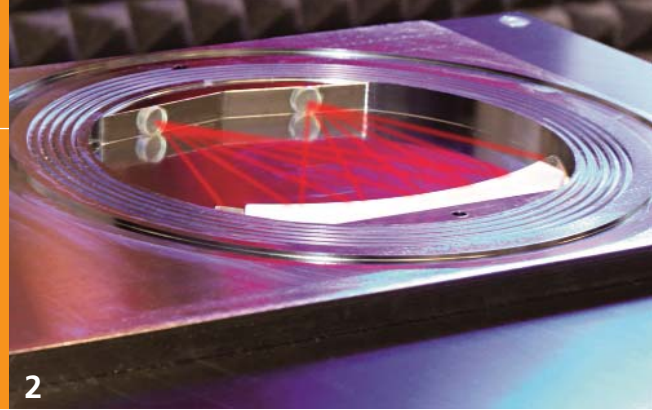
Wenn dünne Schichten Wellen schlagen - laserakustisches Messsystem LAwave®

Um Schichten und Oberflächen mit unterschiedlichen Eigenschaften zerstörungsfrei und mechanisch charakterisieren zu können, entwickelten Forscher des Fraunhofer IWS das laserakustische Prüfgerät LAwave®. Gleichgültig ob die Oberflächen superhart sind wie Diamant oder nachgiebig wie Polymere - auf gut schallleitendem Material können Schichten von nur wenigen Nanometern Dicke gemessen werden. Sie können jedoch genauso gut mehrere hundert Mikrometer dick sein und die Rauheit von thermisch gespritzten Schichten besitzen. Bei der laserakustischen Prüfung treffen Laserimpulse mit einer Länge von wenigen Nanosekunden auf das Bauteil und bringen gezielt nur die Oberfläche zum Schwingen. Form und Laufzeit der Welle, die vom Schichtmaterial abhängen, werden detektiert und mit Signalauswerteverfahren sekundenschnell ausgewertet. Elastizitätsmodul, Dichte und Dicke der Schicht sind die Werkstoffkenngrößen, die den Signalverlauf beeinflussen. Ein weiteres Anwendungsgebiet sind Bearbeitungsrandschichten, die zum Beispiel an der Oberfläche von Halbleiterwafern entstehen, wenn sie gesägt und bearbeitet werden.

Im Jahr 2000 mit dem Fraunhofer-Preis und 2001 mit dem »R&D 100 Award« ausgezeichnet, fanden inzwischen 26 Messplätze an Forschungsinstituten und bei Industriekunden aus Europa, Russland, Japan, Kanada und den USA ihre Anwendung.



1



2

HiBarSens® – Bestimmung der Permeationsrate flexibler Ultrabarrierematerialien

Verpackungsmaterialien für Lebensmittel, Pharmazeutika sowie Verkapselungsmaterialien für elektronische Schaltungen und Bauelemente haben eine Gemeinsamkeit: Neben dem mechanischen Schutz sollen sie vor allem atmosphärische Gase abschirmen und somit Qualität, Haltbarkeit und Stabilität sichern und erhöhen.

Zur Unterdrückung der Gaspermeation – also dem Gastransport durch einen Feststoff – werden häufig flexible, zum Teil beschichtete Materialien mit Barriereigenschaften, das heißt mit Permeationsraten (WVTR: Water Vapor Transmission Rate) von $WVTR < 10^{-2} \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ eingesetzt. Gerade bei neuartigen, technisch hochwertigen Anwendungen wie flexiblen OLED-Displays werden extrem hohe Anforderungen an die Barrierschichten gestellt. Das Fraunhofer IWS hat in enger Kooperation mit der Dresdner Firma SEMPA Systems GmbH ein Sensorkonzept entwickelt, das die sichere Messung der Permeationsrate von Ultrabarrierematerialien mit einer extrem hohen Nachweisempfindlichkeit erlaubt.

Der Schlüssel dazu war die Verwendung eines Laserstrahls, mit dessen Hilfe geringste Mengen an permeiertem Wasserdampf nachgewiesen und daraus die entsprechenden Wasserdampfpermeationsraten berechnet werden können. Das Messprinzip wurde im Rahmen eines europäischen Kooperationsprojektes erfolgreich in ein industrietaugliches Gerät mit dem Namen HiBarSens® überführt. Weniger als 10^{-5} g Wasserdampf pro Tag und pro Quadratmeter Folienfläche können mit dem System bereits sicher detektiert werden. Selbst die nächste Größenordnung von 10^{-6} g Wasserdampf pro Tag und Quadratmeter wird in Kürze messbar sein.

Gemeinsam mit der Firma Sempa Systems GmbH wurde 2011 die Serienproduktion von HiBarSens® für Endanwender vorbereitet.



3



4

Schnelltester für poröse Materialien

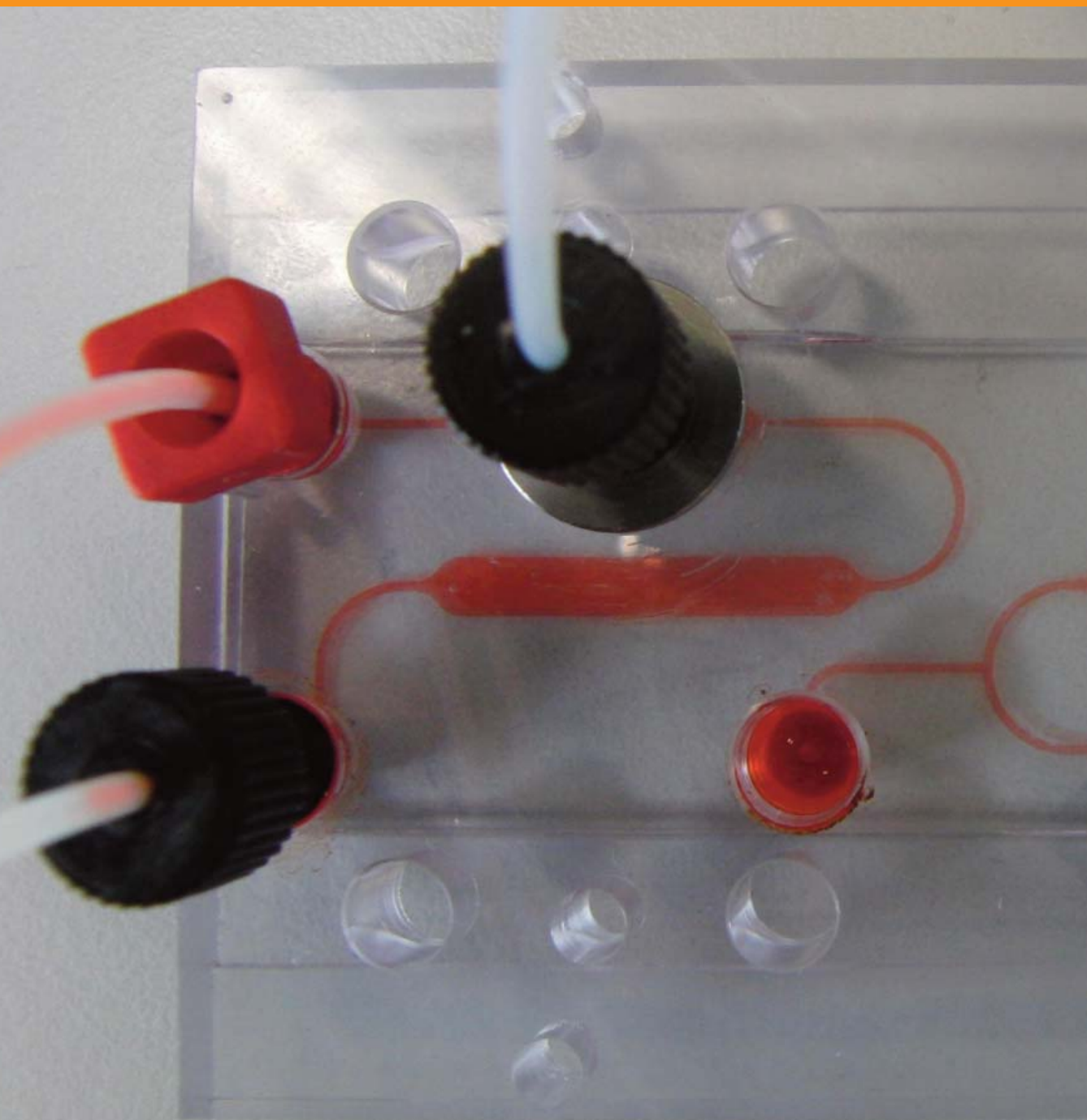
Intensiv werden auf der ganzen Welt neuartige poröse Materialien erforscht. Dazu gehört die Charakterisierung der inneren Oberfläche dieser Materialien, wobei bisher zeit- und kostenaufwändige BET-Messungen verwendet wurden. Die Zunahme kombinatorischer Hochdurchsatzsynthesen und das damit verbundene hohe Probenaufkommen erfordern jedoch eine schnelle Charakterisierungsmöglichkeit für eine große Zahl an Proben.

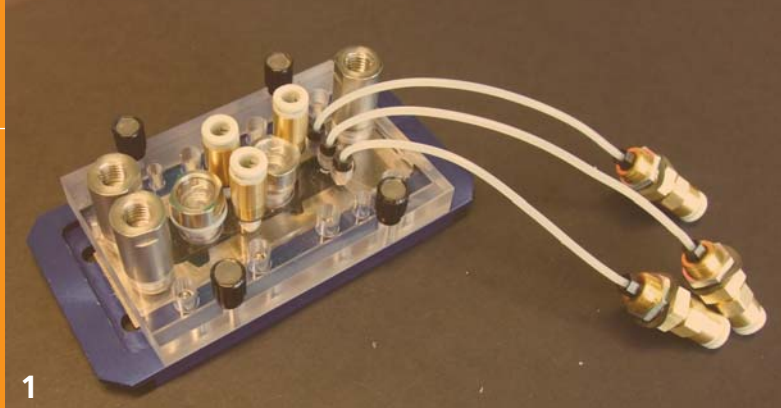
Am Fraunhofer IWS wurde ein Messverfahren entwickelt, das auf Grundlage der während der Gasadsorption freigesetzten Wärmemenge die Adsorptionsfähigkeit eines Materials überprüft. Die Probe wird einem Gasstrom ausgesetzt, der das zu adsorbierende Gas enthält. Findet am Material eine Adsorption statt, kommt es zur Freisetzung der Adsorptionswärme. Diese wird von einem berührungslosen optischen Temperatursensors erfasst. Die Messdauer zur Untersuchung einer Probe liegt dabei im Bereich von nur noch wenigen Minuten. Dank des einfachen und modularisierbaren Messprinzips wird eine Parallelisierung von Messungen möglich.

Das an die Firma Rubotherm lizenzierte Messsystem infraSORP bewältigt die parallele Messung von bis zu zwölf Proben, zusätzlich wurde eine einfach zu bedienende Software entwickelt. Für den Betrieb benötigt das Gerät lediglich einen PC und eine Gasversorgung. Dieses Messverfahren spart nicht nur Zeit und Kosten im Bereich der Synthese neuer Materialien, sondern kann auch zur Prozess- und Qualitätskontrolle in bestehenden Herstellungsverfahren eingesetzt werden.

- 1 HiBarSens®: Messgerät zur hochempfindlichen Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Ultra-barrierefolien
- 2 Strahlengang in der Permeationsmesszelle
- 3 Proben neuartiger metall-organischer Gerüstverbindungen (MOF)
- 4 Seriengerät des Adsorptionsschnelltesters infraSORP

SYSTEMKOMPONENTEN FÜR FLEXIBLE
UND ZUVERLÄSSIGE FERTIGUNGSPROZESSE





MIT LASER MASSGESCHNEIDERTE MIKROREAKTOREN

Mikroreaktoren gewinnen in der chemisch-pharmazeutischen Synthese, Umweltanalytik, molekularbiologischen Diagnostik, der Wirkstoffforschung oder auch Substanztestung stetig an Bedeutung. Denn sie ermöglichen die Umsetzung komplexer chemischer und biologischer Abläufe mit minimalem technischen und personellen Aufwand. Neben geringen Investitions- und Betriebskosten zeichnen sich diese Systeme durch eine kompakte Bauweise, eine hohe Funktionsdichte und ein einfaches Handling aus. Parallel kann durch Einsparung zahlreicher Leitungen und Verbindungsstellen die Zuverlässigkeit erhöht werden.

Am Fraunhofer IWS wurde für die effektive Fertigung von anwendungsspezifischen Mikroreaktoren eine geschlossene Prozesskette vom Design über Simulation und Rapid Prototyping bis hin zur Serienfertigung entwickelt. Die Mikroreaktoren werden schnell und flexibel als Mehrlagensystem aus der Materialkombination Silikon, Glas und Metall oder Polymer hergestellt. Mit den Entwicklungen des IWS steht ein Werkzeug für die unkomplizierte Übertragung bestehender Prozesse auf Mikroreaktoren sowie die Entwicklung neuer Prozesse zur Verfügung

Seit 2009 kooperiert das Fraunhofer IWS erfolgreich mit der capitalis technology GmbH. Bisher wurden sieben anwendungsspezifische Mikroreaktoren für den Markt realisiert, beispielsweise für die Charakterisierung der Biokompatibilität von Oberflächen, die Probenvorbereitung für SPR-Biochips sowie für lebendzellbasierte Fluoreszenz- und Chemolumineszenz-Sensorplattformen. Zukünftig werden für die TissUse GmbH auf der gleichen Basis Mikroreaktoren für die tierversuchsfreie Substanztestung entwickelt.

0 Biochip mit einem offenen und geschlossenen Mikrokreislaufsystem

1 Mikroreaktor für die Charakterisierung der Biokompatibilität von Oberflächen



Seit 1978 verleiht die Fraunhofer-Gesellschaft alljährlich Preise für herausragende wissenschaftliche Leistungen, die in die industrielle Nutzung überführt wurden. Seit Institutsgründung vor 20 Jahren wurden Wissenschaftler des Fraunhofer IWS bereits fünf mal mit diesem Preis geehrt.

1992

Aufnahme der Tätigkeit als selbständige Fraunhofer-Einrichtung mit den Arbeitsgebieten »Laser-Dünnschichttechnologie« und »Laser-Materialbearbeitung«



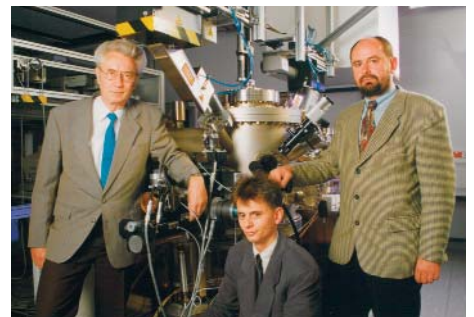
1997

Professor Berndt Brenner erhält den Joseph-von-Fraunhofer-Preis für die erfolgreiche Entwicklung und industrielle Überführung des induktiv unterstützten Laserstrahlschweißens.



1998

Verleihung des Joseph-von-Fraunhofer-Preises an die Wissenschaftler Dr. Hermann Mai, Reiner Dietsch und Thomas Holz für die Weiterentwicklung der Puls laserabscheidung und deren Anwendungen zur Herstellung röntgenoptischer Elemente in der Produktion.



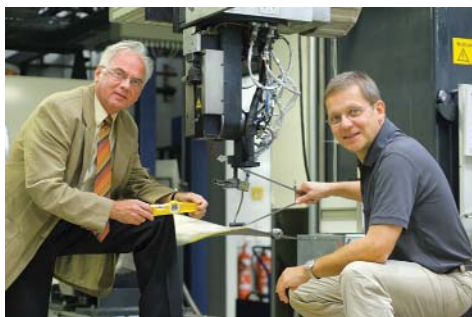
2000

Der Joseph-von-Fraunhofer-Preis für das Laser-Akustikverfahren LWave® zum Vermessen von nanometer-dünnen Schichten geht an die IWS-Wissenschaftler Dr. Dieter Schneider und Dr. Thomas Schwarz.



2006

Prof. Berndt Brenner und Frank Tietz erhalten den Joseph-von-Fraunhofer-Preis für das Randschichtaushärten ausscheidungs-härtbarer Werkstoffe durch die Erzeugung von nanoskaligen Ausscheidungen.



2012

Dr. Stefan Braun ist einer von drei Preisträgern des Joseph-von-Fraunhofer-Preises für die Entwicklung wesentlicher Elemente der EUV-Lithografie: Das IWS entwickelte die erforderlichen Beleuchtungs- und Projektionsspiegel.



Redaktion / Claudia Zellbeck
Gestaltung: Julia Ziemer
Katharina Haas

| | | |
|---------------|-----------------------------------|--|
| Bildnachweis: | Titel, S. 54 | Fraunhofer IWS / Pavel Vakhrushev (shutterstock) |
| | S. 2 | Miklav (fotolia) |
| | S. 4, 7 (Abb. 4) | EMAG Laser Tec |
| | S. 5, 6 (Abb. 2), 7 (Abb. 3), 9, | |
| | 11 (Abb. 2), 14 (Abb. 2), 19, 20, | |
| | 31, 38, 45 (Abb. 2), 48 | |
| | S. 10 | Frank Höhler |
| | S. 14 | www.airbus.com |
| | S. 16, 18 | Held Systems Deutschland GmbH |
| | S. 21 | Jürgen Jeibmann |
| | S. 22 | SITEC Industrietechnologie GmbH |
| | S. 24, 32 (Abb. 2) | MTU Aero Engines |
| | S. 26 (Abb. 1) | Fraunhofer IWS / Frank Höhler |
| | S. 29 | Siemens AG |
| | S. 32 | Microsystems GmbH |
| | S. 33 (unten) | VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH |
| | S. 42 (Abb. 1) | Nesmuk GmbH & Co. KG |
| | S. 47 (Abb. 3) | REM-KON Sp. z o.o. (Polen) |
| | S. 50 (Abb. 1) | teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH |
| | S. 51 (Abb. 4) | SEMPA Systems GmbH |
| | S. 54 (u. li.) | Rubotherm GmbH |
| | S. 54 (u. re.), 55 (mitte) | Jörg Meyer (Das Fotoarchiv) |
| | S. 55 (u. li.) | Bernd Liebl (Fraunhofer-Gesellschaft) |
| | S. 55 (u. re.) | Kai-Uwe Nielsen (Fraunhofer-Gesellschaft) |
| | alle anderen Abbildungen | Dirk Mahler (Fraunhofer-Gesellschaft) |
| | | Fraunhofer IWS Dresden |

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2013

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

www.iws.fraunhofer.de