



Fraunhofer

IWS



Dresden

»50 JAHRE LASER«

**APPLIKATIONEN AUS DRESDEN
MIT LASERN AUS HAMBURG**

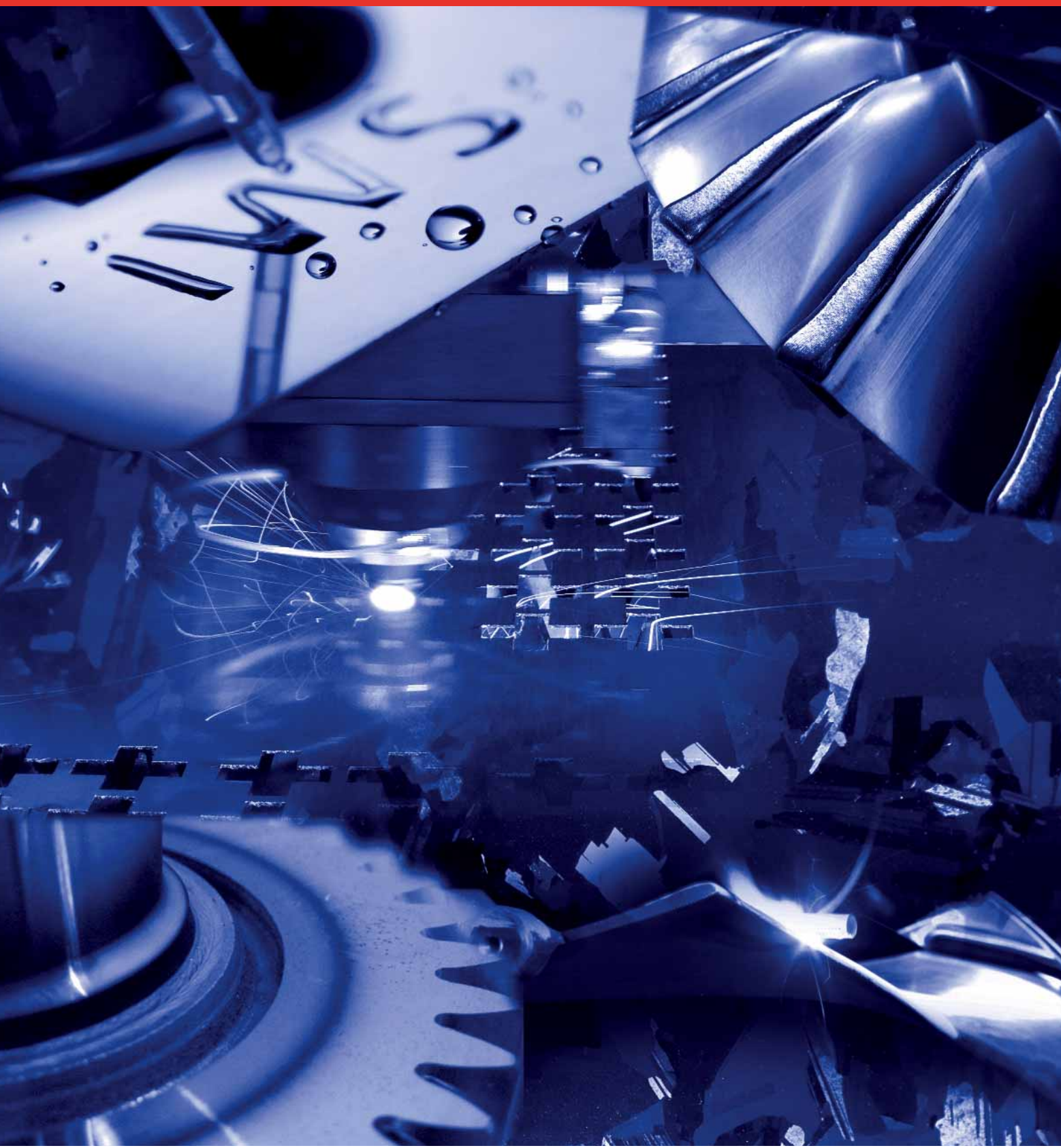


rofin

»APPLIKATIONEN AUS DRESDEN MIT LASERN AUS HAMBURG« 20 JAHRE ERFOLGREICHE ZUSAMMENARBEIT

50 JAHRE LASER	2
LASER – DAS OPTIMALE WERKZEUG ZUR LEBENSDAUERSTEIGERUNG VON TURBINENSCHAUFELN	6
LASER PLUS INDUKTION – EINE ERFOLGREICHE EHE	12
SCHNEIDEN VON ELEKTROBLECH UND AIRBAGMATERIAL MIT DEM DC 025	18
LASERBEHANDLUNG VON KORNIORIENTIERTEM ELEKTROBLECH ZUR FEINUNG DER DOMÄNENSTRUKTUR	24
MIKROPERFORATION MIT DEM RS-MARKER FÜR HOCHFESTE KERAMIK-METALL- FÜGEVERBINDUNGEN	28
LASER IN DER BESCHICHTUNGSTECHNIK – DAS LASER-ARC-MODUL DES IWS	30
TECHNOLOGIEN ZUM LASERSTRAHLSCHWEISSEN FÜR INNOVATIVE INTEGRALE RUMPFSCHALEN VON GROSSRAUMFLUGZEUGEN	34
LASERSTRAHLSCHWEISSEN IM GETRIEBEBAU – EINE ERFOLGSGESCHICHTE	38
ROFIN-SINAR-LASER DC 020 UND DY 044 ZUM AUFTRAGSCHWEISSEN UND GENERIEREN	42
DIVERSE HÄRTEAPPLIKATIONEN FÜR HOCHLEISTUNGSDIODENLASER	46
REMOTESCHNEIDEN MIT DEM FL 010	50
ROFIN-LASER IN DEN USA	52

**»APPLIKATIONEN AUS DRESDEN
MIT LASERN AUS HAMBURG«
20 JAHRE ERFOLGREICHE ZUSAMMENARBEIT**



RS 6000 RF**1990****RS 850 I****1993****SR 200****1997**

50 JAHRE LASER

Prof. Dr. Eckhard Beyer

50 Jahre LASER. Das ist eine lange Zeit. Und so erinnert man sich heute kaum noch: "Wer hat's erfunden?" Ist es der, der die theoretische Möglichkeit aufzeigte, oder der, der den ersten Bauplan skizzierte, oder jener, bei dem es als erstem funktioniert hat? Das Nobelpreiskomitee entschied sich schon 1964 für die Theorie. Der Erbauer des ersten LASERs wurde später geehrt, als der wirtschaftliche Nutzen erkannt wurde. Der Bauplanzeichner ging leer aus.

Sollten sich Historiker einmal der Sache annehmen, dann werden sie wahrscheinlich 1916 beginnen. Da bearbeitete Albert Einstein die noch offene Baustelle der Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie. Es ist müßig, hier auf Einzelheiten einzugehen. Wesentlich sind zwei seiner Ergebnisse: Es gibt eine - wenn auch beklagenswerte - Wahrscheinlichkeit dafür, dass Materie die einfallende Strahlung verstärkt, indem zusätzliche Photonen freigesetzt werden. Das wird normalerweise von der Absorption verdeckt. Außerdem entführt ein Photon dem Atom bei der Ausstrahlung nicht nur Energie, sondern auch einen Impuls, und das ist ein gerichteter Prozess.

Einstein war leider mit der widerspruchsfreien Ableitung des Planckschen Strahlungsgesetzes zufrieden. Hätte er sich länger mit dem Thema beschäftigt, wäre er sicher zu dem Schluss gelangt, dass man die einfallende Strahlung künstlich verstärken kann und dass diese zwangsläufig kohärent und nahezu parallel sein muss - beides die Grundeigenschaften der LASER-Strahlung.

Bei ihren "Aufladeversuchen" mit verschiedenen Gasen gelang Rudolf Ladenburg und Hans Kopfermann 1928 der indirekte Nachweis einer induzierten Lichtemission. Direkt war sie nicht beobachtbar, sie wurde durch die stärkere Absorption maskiert. Danach herrschte lange Zeit Zweifel, ob der Effekt jemals zur Verstärkung eines Lichtfeldes genutzt werden kann. Es war klar, dass man das thermodynamische Gleichgewicht des Mediums sehr stark stören muss, aber nicht, wie man das erreicht.

Das Problem erinnerte an die Bestrafung des Sisiphos: Kaum hatte er seinen Stein fast auf den Berggipfel gewuchtet, da rollte dieser auch schon wieder bergab. Ein „Parkplatz“ für den Stein knapp unterhalb des Gipfels, das wär's ...

DC 025**1997****RS Marker 100D****1999****DY 044****1999**

Einen großen Schritt in diese Richtung machte Valentin A. Fabrikant. 1940 gelang ihm die erste Lichtverstärkung. Nach dem Krieg setzte er seine Arbeiten fort. Das Ergebnis war eine Patentanmeldung im Jahre 1951 über die Verstärkung elektromagnetischer Wellen durch induzierte Emission. Mehrere Wege zur Erzielung des gewünschten Resultats in Gasen wurden angegeben, ungeachtet aller Anstrengungen war allerdings keiner erfolgreich. Darüber hinaus verzögerte sich die Veröffentlichung der Anmeldung bis 1959, das war nun auch für sowjetische Verhältnisse deutlich zu spät.

Alfred Kastler schlug 1950 eine Methode des "optischen Pumpens" vor und realisierte sie zwei Jahre später. Damit konnte man nun eine Nichtgleichgewichtsbesetzung von Energieniveaus durch optische Anregung technisch erzielen, d. h. mehr „Steine“ auf den „Parkplatz“ heben, als gleichzeitig wieder herunterrollen.

Die weitere Entwicklung verlief praktisch gleichzeitig und unabhängig voneinander: Alexander M. Prochorow und Nikolai G. Bassow in Moskau sowie Charles H. Townes in New York bauten Geräte zur Erzeugung von Funkwellen durch Moleküle. In Moskau nannte man das Gerät Molekulargenerator und in New York MASER, abgekürzt aus den Anfangsbuchstaben für die englische Beschreibung des Prinzips: "Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation". Beide Geräte waren im Prinzip identisch. Sie nutzten Ammoniak-Moleküle, von denen man wusste, dass sie einen sehr stabilen „Parkplatz“ haben. Diese Ammoniak-Moleküle trennten sie mit Hilfe eines elektrischen Felds nach dem Aschenputtel-Prinzip in energiearme und in angeregte Teilchen. Letztere gaben ihre „Parkplatz“-Energie an eine durchlaufende Funkwelle ab und verstärkten sie somit.

Nun war klar, dass das Prinzip auch auf kürzere Wellenlängen übertragen werden konnte. 1958 wurde von Prochorow, Bassow sowie Townes und Arthur L. Schawlow gezeigt, dass auch eine optische Version des MASERs theoretisch möglich ist. Diese erste Theorie des LASERs wurde 1960 für Townes und Schawlow patentiert.

Der erste funktionierende LASER, ein Rubinlaser, gelang dann Theodore H. Maiman im Jahr 1960, deswegen feiern wir dieses Jahr 50 Jahre LASER. Den Aufbau entwickelten zwar Townes und Schawlow, doch Maiman ließ den Rubinstab lasern. Daran waren alle anderen bisher gescheitert.

DL 040S**2003****DC 060****2004****FL 010****2009**

Prochorow, Bassow und Townes erhielten 1964 den Nobelpreis, gelten somit offiziell als Väter des LASERs. Die Laserpioniere mussten damals viel Spott einstecken. Townes erinnerte sich später, wie seine Kollegen ihn gerne aufzogen. Der LASER sei zwar eine tolle Idee, aber eine Lösung, die noch ihr Problem suche. Fraunhofer-Mitarbeiter kennen das.

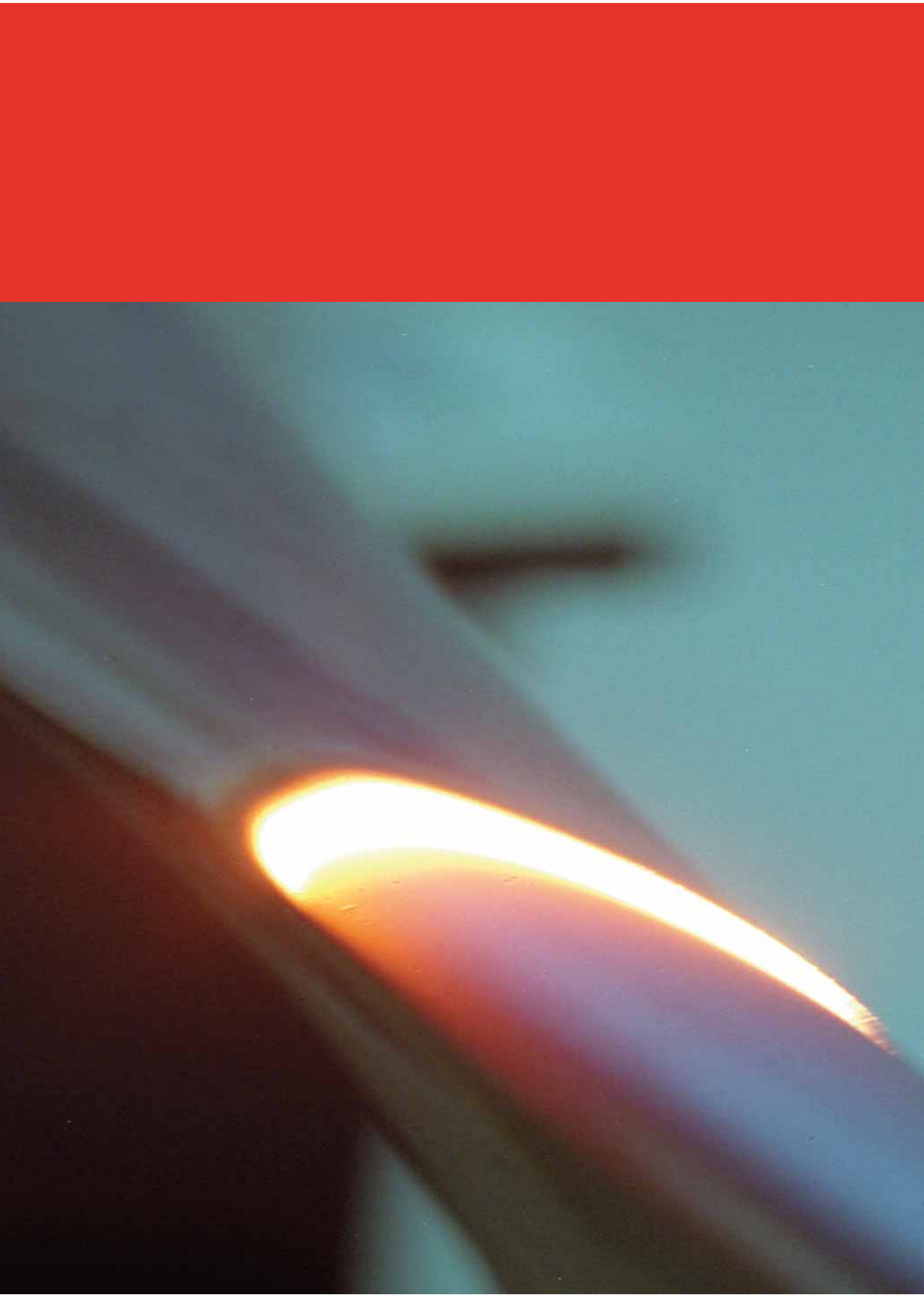
Als der Rubinlaser gerade erfunden war, wurde die Intensität der erzeugten Laserstrahlung in Gillette gemessen. Warum in Gillette? Man hat gemessen, wie viele Rasierklingen der Strahl durchschlagen kann und so seine Leistungsfähigkeit angeben. In dieser Anekdote steckt der Ursprung einer intensiven industriellen Anwendung des LASERs. Schon 1960 wird das Punktschweißen von Uhrfedern entwickelt, und 1965 setzt Gerd Herziger den LASER zum Bohren von Diamant ein.

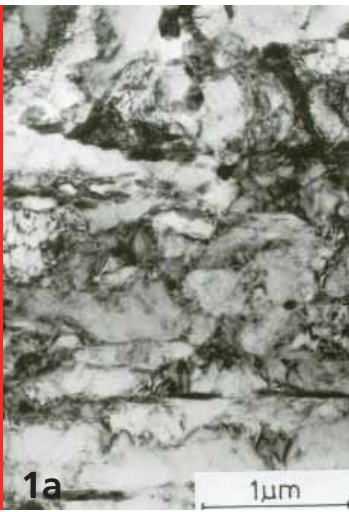
1981 erhielt auch Schawlow den Nobelpreis für seinen Beitrag an der Entwicklung. Die wirtschaftliche Bedeutung des LASERs war zu diesem Zeitpunkt endgültig klar,

Auch Dr. Peter Wirth hat in seinem Berufsleben die Entwicklung des Lasers in erheblicher Weise geprägt. Er hat die Rofin-Sinar Laser GmbH zu einem Weltkonzern ausgebaut und insbesondere durch die Entwicklung der Slab-CO₂-Laser und der Hochleistungsdiodelnaser Geschichte geschrieben. Für das auf die Lasermaterialbearbeitung spezialisierte Fraunhofer IWS war die vor 20 Jahren begonnene Kooperation mit dem Laserhersteller Rofin-Sinar ein Glücksfall. Viele Ideen des IWS hat Herr Dr. Wirth wohlwollend begleitet, oft hat er ihnen zum industriellen Durchbruch verholfen..

Auch wenn die Entwicklung des LASER-Prinzips stürmisch verläuft, Kämpfe mit LASER-Schwertern werden wir in absehbarer Zeit wohl nur im Kino sehen. Über eine Reihe sinnvollere Anwendung des LASERs soll nun in den folgenden Kapiteln berichtet werden.

Prof. Dr. Eckhard Beyer
Institutsleiter





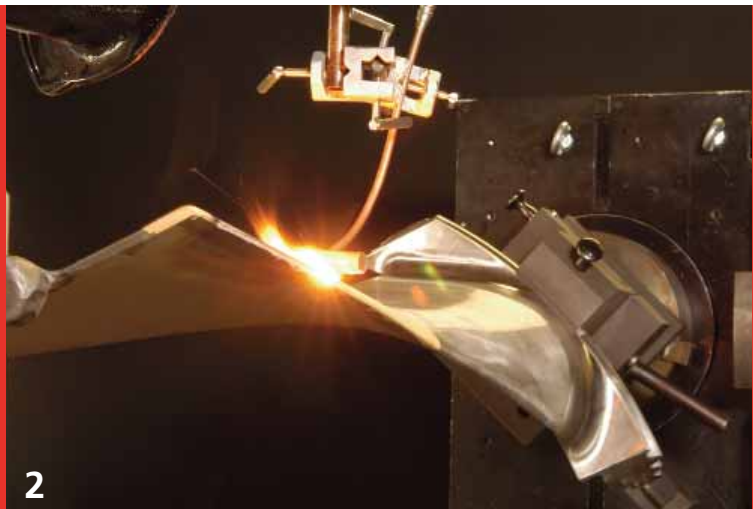
LASER – DAS OPTIMALE WERKZEUG ZUR LEBENSDAUERSTEIGERUNG VON TURBINENSCHAUFELN

Prof. Dr. Berndt Brenner

Die Niederdruck-Laufschaufeln von Dampfturbinen unterliegen während ihres Betriebes einem ständigen Bombardement von auskondensierten Wassertropfchen. Der dadurch hervorgerufene Verschleiß führt zur Zerstörung der Eintrittskanten der Turbinenschaufeln und zieht beträchtliche wirtschaftliche Schäden nach sich. Ihre effiziente und das Turbinen-Betriebsregime nicht einschränkende Vermeidung ist deshalb ein Thema, das sowohl Werkstoffentwickler, Turbinenkonstrukteure und Maintenance-Experten der Turbinenhersteller als auch die Kraftwerksbetreiber umtreibt.

Seit mehr als 25 Jahren ist es auch für die Entwickler von lasergestützten Randschichtveredlungsverfahren des Fraunhofer IWS ein Thema. Für sie kommt es dabei darauf an, flexible, werkstoff- und beanspruchungsangepasste Verschleißschutzverfahren zu finden, die imstande sind, den sehr komplexen Belastungen in den Turbinen über Jahre bis Jahrzehnte hinweg zu widerstehen.

- 0 *Laserhärten von Turbinenschaufeln*
- 1 *TEM-Aufnahme der Realstruktur von randschichtgehärtetem Turbinenschaufelstahl*
- a) *Mikrostruktur nach Flammhärten: Martensit und teilweise nicht vollständig aufgelöste (Fe-Cr)-Karbide*
- b) *Mikrostruktur nach Laserstrahlhärten: sehr feinstreifiger homogener Martensit*



2 *Laserstrahlhärten der Eintrittskante einer Turbinenschaufel*

Für Turbinenschaufeln aus martensitisch härtenden Stählen konnte schon vor 25 Jahren mit dem Laserstrahlhärten mittels flexibler Strahlformung eine solche Lösung gefunden werden. Dabei wird der Eintrittskanten-nahe Bereich der Turbinenschaufel über die gesamte Verschleißzonenbreite hinweg kurzzeitig einer – im Vergleich zum induktiven Härten – deutlich höheren Austenitisierungstemperatur unterworfen und durch schnelle Wärmeableitung in das Schaufelvolumen hinein abgeschreckt.

Die sich ständig ändernde Schaufelgeometrie stellt dabei die größte Herausforderung dar. Damit eine lokal beanspruchungsgerechte Einhärtetiefe erreicht wird, müssen die Austenitisierungsbedingungen quer und längs zur Schaufeleintrittskante konstant gehalten werden. Dies gelingt durch eine schnelle Strahloszillation quer zur Laserstrahlvorschubrichtung und entsprechend eingestellten Werten für den Auftreffwinkel des Laserstrahles, des Abstandes des Laserstrahles zur Eintrittskante, seinem Durchmesser und der Vorschubgeschwindigkeit.

Das Ergebnis ist ein gegenüber dem Flamm- oder Induktionshärten deutlich feinstreifigerer, höher aufgehärteter Martensit mit einem erhöhten Anteil an zwangsaufgelöstem Kohlenstoff (Abb. 1) und daraus resultierend höherer Härte. Dieses Gefüge führt zu einer signifikant erhöhten Verschleißbeständigkeit und im Zusammenhang mit einer beanspruchungsgerechten Härtezonenausbildung zu einer deutlich erhöhten Lebensdauer.

Die reproduzierbare und industriellen Qualitätsansprüchen genügende Turbinenschaufelhärtung (Abb. 2) erforderte eine entsprechende Laserquelle. Mit seiner sehr gleichmäßigen, konstanten und symmetrischen Leistungsdichteverteilung, seiner hohen Leistungsqualität und Zuverlässigkeit sowie seiner umschaltbaren Modenblende war der dann beschaffte CO₂-Laser RS 6000 RF (Abb. 3) die zum damaligen Zeitpunkt am besten geeignete Laserstrahlquelle auf dem Markt. Zusammen mit einer später beschafften 5-Achs-Bewegungsmaschine der Firma Arnold (Abb. 4) war damit die nötige technische Basis sowohl für die industrielle Umsetzung des Turbinenschaufelhärtens wie auch für die erfolgreiche Entwicklung des Fraunhofer IWS zu einem geschätzten Partner für viele weitere technische Entwicklungen in Kooperation mit der deutschen und internationalen Turbinenbauindustrie geschaffen.



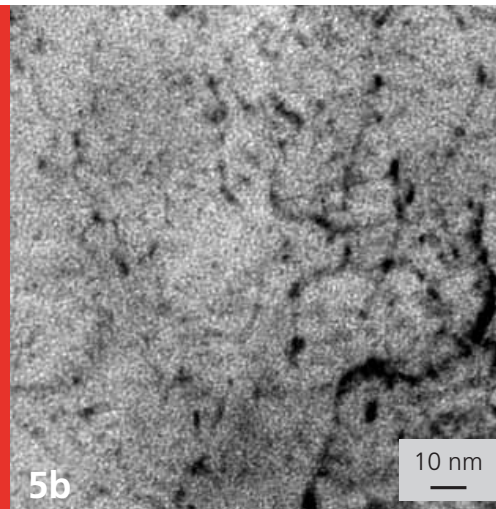
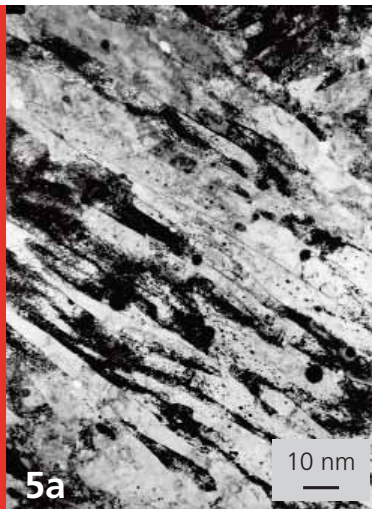
- 3 *Laser RS6000 (Bildmitte) als Laserstrahlquelle zum Laserrandschichthärten mit einem Linienportal (Beispiel Turbinenschaufelhärten links) sowie Laserstrahlschweißen und Laserstrahlauftragschweißen (3-Achs-CNC-Maschine, rechts); IWS-Laserlabor, Ausrüstungsstand 1990*
- 4 *Laserstrahlhärtung einer Turbinenschaufel auf einer 5-Achs-Bewegungsmaschine der Firma Arnold*

Mit seiner Einsatzflexibilität wurde dieser Laser darüber hinaus zur entscheidenden Strahlquelle des IWS für die Entwicklung der Lasertechnologien, die das Bild des IWS noch heute prägen, wie z. B. das Laserstrahlschweißen, -schneiden, -auftragschweißen und -plattieren.

Die Steigerung des energetischen Wirkungsgrad von Dampfturbinen ist heute nicht weniger aktuell als vor 25 Jahren. Bis heute wird nach Möglichkeiten gesucht, werkstofftechnische Grenzen für die Realisierung strömungsgünstigerer, stärker verwundener Profile zu verschieben. Für die Entwicklung freistehender sehr langer Endstufenschaufeln ohne Dämpferelemente, die den Strömungswiderstand vergrößern, und für den Einsatz von Deckplattenschaufeln mit geringeren Spaltverlusten reichen die mechanischen Eigenschaften der martensitischen Stähle nicht mehr aus.

Ausscheidungshärtbare Cr-Ni-Stähle sind für diesen Anwendungsfall prädestiniert. Allerdings war für diese lange Zeit kein geeignetes Verschleißschutzverfahren bekannt. Daher mussten aufwändige Leitschaufelheiz- oder Stufenentwässerungssysteme entwickelt und eingesetzt werden, um diese Stähle auch für Turbinenschaufeln in solch hoch beanspruchten Endstufen-Auslegungen nutzen zu können.

Neben Kostengesichtspunkten sprach auch die Verringerung des energetischen Wirkungsgrades für die Ablösung dieser Systeme durch die Entwicklung einer neuartigen lasergestützten Wärmebehandlungstechnologie für ausscheidungshärtbare Werkstoffe. Die dazu vom IWS in Zusammenarbeit mit der Siemens AG entwickelte Technologie nutzt erstmalig das altbekannte Prinzip „harte Randschicht – zäher Kern“ für ausscheidungshärtbare Werkstoffe.



- 5 *TEM-Aufnahme der Realstruktur in dem ausscheidungshärtbaren Stahl X5CrNiCuNb16-4*
- a) *Körner mit angelassenem Martensit sowie inkohärenten und kohärenten Cu-Ausscheidungen*
- b) *Sehr feine Cu-Cluster in gering angelassenem Martensit*

In einem ersten Schritt werden die Schaufeln konventionell lösungsgeglüht und rasch abgekühlt. Die im Gefüge enthaltenen Cu-Ausscheidungen werden so aufgelöst und in fester Lösung gehalten. Mit einer konventionellen Ausscheidungswärmebehandlung wird ein stark überaltertes Gefüge eingestellt, d. h. die Kupferatome bilden relativ große inkohärente Kupfer-Ausscheidungen mit einem Durchmesser von ca. 20-50 nm (Abb. 5a). Damit wird ein zäher Gefügezustand mit hoher zyklischer Belastbarkeit im gesamten Schaufelquerschnitt erzeugt.

Anschließend erfolgt in den Bereichen, die später hart werden sollen, eine Laserlösungs- und Glühung. Vorteilhaft wirkt sich aus, dass dafür die gleichen Laser und die gleichen Strahlformungseinheiten verwendet werden können, wie auch beim Laserstrahlhärten. Die Parameter für die Laserlösungs- und Glühung werden so gewählt, dass sowohl alle überalterten Ausscheidungen aus der ersten Wärmebehandlung der Turbinenschaufel wie auch alle, noch aus der Schmiedewärmebehandlung nicht völlig aufgelösten primären Cu-Ausscheidungen aufgelöst werden.

Nach schneller Selbstabschreckung entsteht in der Randschicht ein stark mit atomar gelösten Cu-Atomen übersättigter Zustand. Dieser wird dann einer abschließenden konventionellen Ausscheidungswärmebehandlung bei niedrigeren Temperaturen als der vorhergehenden unterworfen. Als Ergebnis entsteht eine Realstruktur mit vielen nanoskaligen Cu-Clustern mit Durchmessern von 1 bis 5 nm. Deren Anzahl ist um etwa den Faktor 100 bis 3000 größer, als die der vorherigen Ausscheidungen (Abb. 5b). Durch ihren geringen Abstand und die größere Gitterverspannung behindern sie effektiv die Versetzungsbewegung. Die Folge ist eine um 120-180 HV höhere Härte und ein beträchtlich höherer Verschleißwiderstand.



6. *Turbinenläufer einer Niederdruckstufe mit laserstrahl-
ausgehärteten Turbinenschaufeln*

Nach dem Sammeln überzeugender Laufzeiterfahrungen bewähren sich derzeit laserstrahlgehärtete und -ausgehärtete Turbinenschaufeln in mehr als 180 Kraftwerken weltweit (Abb. 6).

Nicht ohne Wehmut der beteiligten Mitarbeiter ging am 18. Dezember 2009 unser RS 6000 nach fast 20-jährigem zuverlässigem Betrieb in seinen wohlverdienten Ruhestand. Auf seinem Konto stehen beileibe nicht nur gehärtete Turbinenschaufeln, die in diesem Beitrag im Vordergrund standen. Vielmehr war er das entscheidende und auch anfangs einzige Werkzeug für die Entwicklung der Technologien zum Laserstrahlschweißen, -schneiden, -auftragschweißen und -härten und – last but not least – der Katalysator der erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen Rofin Sinar und dem Fraunhofer IWS Dresden.

Neben diesem - sozusagen technischen - Katalysator gab es jedoch auch einen menschlichen, der die Entwicklung des Fraunhofer IWS Dresden maßgeblich ermöglicht, befruchtet und wohlwollend begleitet hat – Herrn Dr. Peter Wirth, dem wir alle dafür unseren herzlichen Dank ausdrücken möchten.





1a



1b

LASER PLUS INDUKTION – EINE ERFOLGREICHE EHE

Prof. Dr. Berndt Brenner

Eine der herausragenden Eigenschaften des Lasers besteht aus metallphysikalischer Sicht in der präzise bis hin zu sehr hohen Werten einstellbaren Leistungsdichte des Laserstrahles. Sie ermöglicht eine ganze Reihe völlig unterschiedlicher Verfahren, angefangen vom Laserstrahlschneiden über das Schweißen, Auftragsschweißen bis hin zum Laserstrahlhärten und –wärmebehandeln. So wird beim Laserstrahlschweißen sehr vorteilhaft davon Gebrauch gemacht, dass die nötigen Streckenenergien für vergleichsweise große Schweißnahttiefen sehr gering sind. Dies schlägt sich sehr positiv in einem eher kleinen Verzug, einem i. d. R. sehr feinkristallinen Erstarrungsgefüge und sehr schmalen Wärmeeinflusszonen nieder.

Andererseits sind damit notwendigerweise große Abschreckkoeffizienten verbunden. Sie rufen insbesondere bei hochfesten, martensitischen oder heißbrissanfälligen Werkstoffen sowie bei schmelzmetallurgisch nicht fügbaren Mischverbindungen nachteilige Effekte hervor. Unzulässige Aufhärtung, Kaltriss- bzw. Heißrissbildung, Reduzierung der Umformfähigkeit durch Festigkeits-Mismatch o. ä. sind Problemstellungen, die für einen industriellen Einsatz sicher gelöst werden müssen.

Ein Lösungsansatz, den das Fraunhofer IWS Dresden Anfang der 90-er Jahre verfolgte, war die prozessintegrierte Nutzung einer induktiven Kurzzeitwärmebehandlung zur gezielten werkstofftechnischen Einflussnahme. Es ist der Verdienst von Herrn Dr. Peter Wirth, das Potenzial dieser Verfahrenskombination von Anfang an erkannt zu haben. Durch die großzügige Zurverfügungstellung eines 5 kW-CO₂-Lasers (Abb. 1a) innerhalb eines BMBF-Projektes wurde eine ganze Reihe an sehr erfolgreichen Entwicklungen ermöglicht.

0 *Übersicht laserinduktionsgeschweißte Bauteile*

1 *Weltweit erste Laserinduktionsanlage für den Mehrzweck – Einsatz 1994*

a) *quergeströmter 5 kW CO₂-Laser Rofin Sinar RS 850 I*

b) *Laserinduktionsanlage FDF LIHM 1000 der Fa. Fritz Düsseldorf Freiburg*



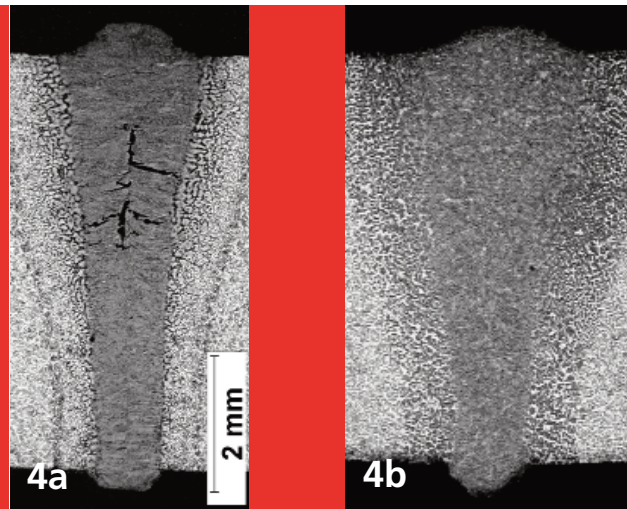
- 2 *Laserinduktionsschweißanlage zum Schweißen von Tripoden bei VW Wolfsburg*
- 3 *Anlage zum Laserinduktionsschweißen von Hohlwellen bei GETRAG Neuenstein*

Eine ganze Palette von Verfahrenskombinationen ist seitdem entwickelt worden. Beispiele sind das induktive Vorwärmen, das induktive Nachwärmen, das induktive Vor- und Nachwärmen parallel, das induktive Kurzzeitanlassen und das induktive Temperaturfeld-Tailoring. Einige der Varianten sind industriell sehr erfolgreich umgesetzt worden. Ziel des Beitrages ist es, mit dem Entwicklungsstand und den industriellen Perspektiven von einigen Verfahrensvarianten bekannt zu machen.

Die ersten drei Varianten sind sehr gut für Vergütungsstähle geeignet. Durch die begleitende induktive Wärmeführung kann die Schweißnahtabkühlung so geführt werden, dass eine einstellbare Nahtaufhärtung erreicht wird. Die Bildung von Martensit oder Bainit wird unterdrückt und vor allem Kaltrisse oder Aufhärtungsrisse in der Schweiß- bzw. Wärmeeinflusszone werden vermieden.

Dieses effektive Verfahren hat sich zur Methode der Wahl beim Schweißen von hochbeanspruchten Bauteilen aus un- und niedrig legierten Vergütungsstählen aus dem Bereich Antriebsstrang von Pkw und Nkw entwickelt. Damit ist das Laserstrahlschweißen einer Vielzahl von Getriebebauteilen effektiver oder sogar erstmalig möglich (Abb. 0). Bis zum jetzigen Zeitpunkt sind 10 verschiedene Laserinduktionsschweißaufgaben in die industrielle Großserie überführt worden (Abb. 2, 3). Jährlich werden ca. 2,5 bis 4 Mio. Teile bei verschiedenen Automobilherstellern bzw. Zulieferern zuverlässig und präzise verschweißt.

Auf einem anderen Feld erweist sich das Laserstrahlschweißen mit einem integrierten Anlassen als ein sehr vorteilhaftes Verfahren. Im Karosseriebau geht der Trend zu Stahlfeinblechen immer höherer Festigkeit. Die mit der Festigkeit zunehmende Aufhärtung der Laserstrahlschweißnaht reduziert die Umformbarkeit von tailored blanks und verringert die Verformungsreserve im Crash-Fall. Abhilfe kann hier ein prozessintegriertes lokales Anlassen der Naht schaffen. Im Gegensatz zur o. a. integrierten Nachwärmung bei Vergütungsstählen lässt man hier bewusst die Unterschreitung der MS-Temperatur und damit die Martensitbildung zu.

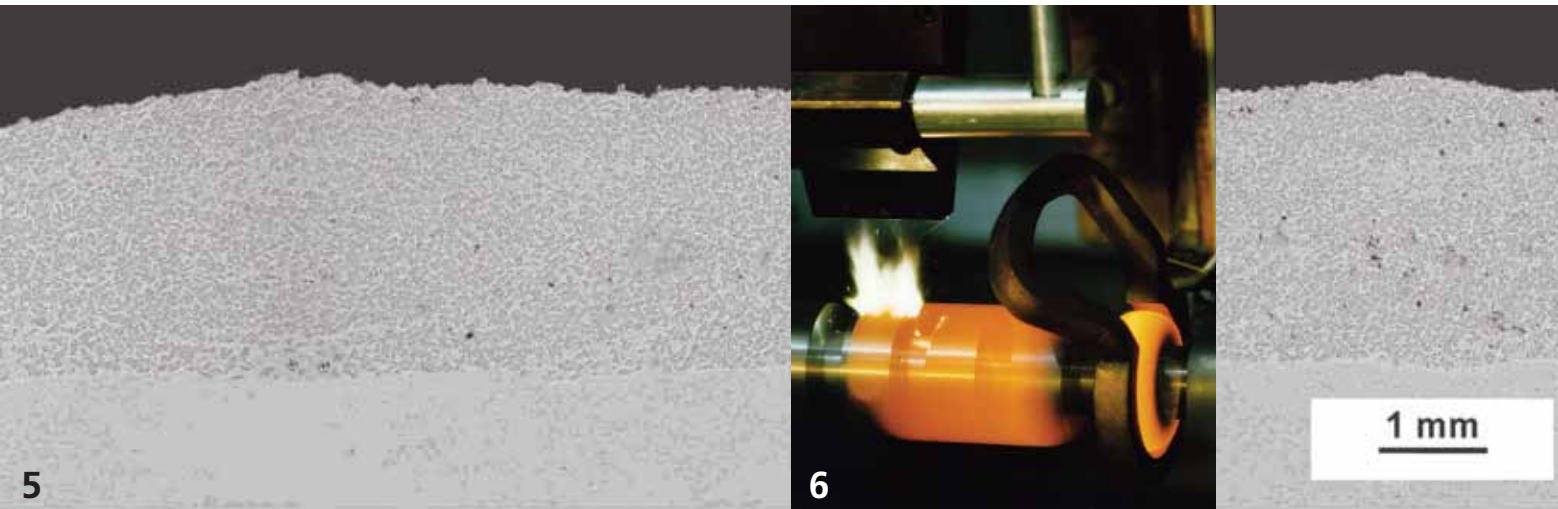


- 4 *Schweißverbindung aus dem nicht schmelzschweißbaren härtbaren Automatenstahl 45S20*
- a) *Laserstrahlschweißen mit einer Vielzahl von Heißbrissen*
- b) *rissfreie Laserstrahlschweißnaht nach induktivem Temperaturfeld-Tailoring*

Der anschließend kurzzeitangelassene Martensit weist deutlich bessere Zähigkeitseigenschaften auf, als der bei diesen Stählen bei einer verlangsamten Abkühlung entstehende Bainit. Als Resultat kann die Umformbarkeit und insbesondere die Streckzieh- und Tiefziehfähigkeit von modernen Dualphasen- oder Restaustenitstählen deutlich verbessert werden.

Ein ernstes und bisher nicht ausreichend gelöstes Problem der Schweißtechnik und insbesondere der Laserschweißtechnik stellen Heißbrisse dar. Unmittelbar während und nach der Erstarrung steht jede Schweißnaht wegen des sich abflachenden Temperaturfeldes unter Zugdehnungen bzw. Zugspannungen. In zweiphasig erstarrenden Legierungen oder Legierungen mit einer niedrig schmelzenden, sich an den Korngrenzen sammelnden zweiten Phase führt das zum Aufreißen der noch schmelzflüssigen Gebiete – ein Mechanismus der zu Heißbrissen führt (Abb. 4a).

Mit dem sogenannten Temperaturfeld-Tailoring wurde ein Verfahren entwickelt, welches die Heißbrissgefahr für viele potenzielle Anwendungsfälle vermeidet. Eleganterweise wird damit die metallphysikalische Ursache von Heißbrissen – transiente Zugspannungen im sogenannten Temperaturintervall der Sprödigkeit – prinzipiell vermieden. Das wird erreicht, indem parallel und symmetrisch zur erstarrenden Schweißnaht induktiv zwei lokale Temperaturfelder erzeugt werden. Deren Maximaltemperatur, Ausdehnung, Tiefe und Position werden so gewählt, dass sie die erstarrende Schmelze unter Druck setzen. Damit gelingt es, auch bisher als absolut nicht schweißgeeignet geltende Werkstoffe, wie z. B. vergütbare Automatenstähle rissfrei zu schweißen (Abb. 4b).



- 5 *rissfreie mit hoher Vorschubgeschwindigkeit erzeugte Auftragschweißung einer Legierung mit sehr hohem Hartstoffgehalt*
- 6 *Laserinduktionsumschmelzen von gusseisernen Nockenwellen*

Während bei den verschiedenen genannten Varianten des Laserinduktionsschweißens die Wirkung des induktiven Temperaturfeldes primär auf die Temperatur-Zeit-Abhängigkeit der Gefügeentstehung und -umwandlung sowie die Vermeidung negativer transients Zugspannungen gerichtet ist, steht bei den Varianten der Laserinduktion zur Randschichtveredlung und zur Oberflächentechnik neben der gefügemäßigen Eingriffsmöglichkeit die energetische Arbeitsteilung zwischen Laserstrahl und Induktion im Vordergrund. So lässt sich z. B. beim Laserinduktionsauftragschweißen mit einer induktiven Vorwärmung die Auftragschweißgeschwindigkeit um den Faktor 10 steigern.

Die Ursache dafür liegt darin, dass der Laserstrahl nur noch einen Bruchteil der nötigen Energie zur Erzeugung einer mit Pulver benetzbaren Oberfläche aufbringen muss. Gleichzeitig kann trotz der erhöhten Vorschubgeschwindigkeit die Abkühlgeschwindigkeit so weit herabgesetzt werden, dass es möglich ist, auch sprödere Schichten oder Schichten mit höheren Hartstoffgehalten rissfrei auftragzuschweißen (Abb. 5). Damit lassen sich die industriellen Anwendungsperspektiven für eine Reihe wirtschaftlich interessanter Bauteile deutlich verbessern.

Auch beim Laserinduktionsumschmelzen versetzt erst die erhöhte Prozessgeschwindigkeit bei gleichzeitig werkstoffabhängig einstellbar abgesenkter Abkühlgeschwindigkeit den Laser in die Lage, z. B. gusseiserne Nockenwellen mit hoher Vorschubgeschwindigkeit rissfrei ledeburitisch umzuschmelzen und damit die Voraussetzung für noch höher verschleißbeständige Nockenwellen zu schaffen (Abb. 6).

In verschiedenen aktuellen industriellen Entwicklungsrichtungen (Elektromobilität, Energie und Ressourcen sparende Produktion, Erhöhung des Wirkungsgrades energetischer Prozesse, regenerative Energien) steigt der Bedarf nach Bauteilen oder Halbzeugen, die imstande sind, die steigenden mechanischen Anforderungen möglichst günstig mit verbesserten tribologischen, elektrischen, magnetischen oder thermischen Eigenschaften zu kombinieren.



7 Walzplattiertes Band der Werkstoffkombination Stahl / Aluminium

Diesem Anforderungsprofil kann in einer Reihe industriell interessanter Anwendungsfälle durch band- bzw. halbzeugartige Werkstoffverbunde entsprochen werden. Dem steht jedoch vielfach entgegen, dass ein Großteil der dafür in Frage kommenden Werkstoffkombinationen wie z. B. Stahl / Al, Stahl / Cu, Titan / Al usw. nicht durch Schmelzschweißverfahren gefügt werden können.

Einen Ausweg bietet das neu entwickelte Laserinduktionswalzplattieren. Neben der energetischen Arbeitsteilung spielt hier die gezielte Ausnutzung der Temperaturabhängigkeit der Fließspannung der zu fügenden Werkstoffe zur Realisierung eines thermomechanischen Pressschweißens in der festen Phase eine entscheidende Rolle. Dazu werden die beiden zu fügenden Bänder oder Halbzeuge vor dem Einlaufen in einen Walzenstock induktiv bis auf eine Temperatur von ca. 50 bis 80 % der Schmelztemperatur erwärmt.

Zusätzlich wird in den Walzspalt ein entsprechend geformter Laserstrahl eingekoppelt. So werden lokal und sehr kurzzeitig im Walzspalt Temperaturen knapp unterhalb der Schmelztemperatur des niedriger schmelzenden Bandes erreicht werden. Bei entsprechender Wahl des Walzdruckes setzt dann ein thermomechanisch gesteuertes Pressschweißen in der festen Phase ein. Durch die Vermeidung der schmelzflüssigen Phase und die intensive Scherung an der Grenzfläche wird die Entstehung von größeren intermetallischen Phasen vermieden, die ansonsten vielfach das Schweißen von Mischverbindungen verhindern. Damit wird es auch erstmals möglich, Bimetallbänder aus bisher nicht prozesssicher fügbaren Werkstoffkombinationen wie Vergütungsstahl / Baustahl, Stahl / Aluminium, Stahl / Lagerbronze, Stahl / Lagermessing mit ausgezeichneten Verbindungseigenschaften (Abb. 7) zu fügen. Durch die energetische Arbeitsteilung ist es zudem möglich, attraktive Fügegeschwindigkeiten von 10 - 20 m / min bei Fügezonensbreiten von 10 - 25 mm zu erreichen.

Weitere schon entwickelte und von der energetischen Arbeitsteilung profitierende und auch an industriellen Bauteilen erprobte Varianten stellen das Laserinduktionshärten und das Laserinduktionsdrückwalzen dar.

SCHNEIDEN VON ELEKTROBLECH UND AIRBAGMATERIAL MIT DEM DC 025

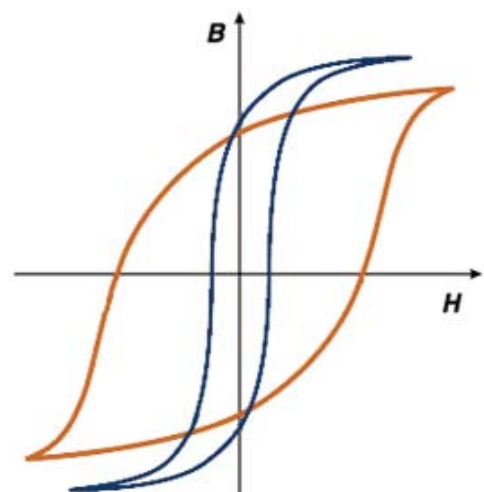
Dr. Lothar Morgenthal, Annett Klotzbach

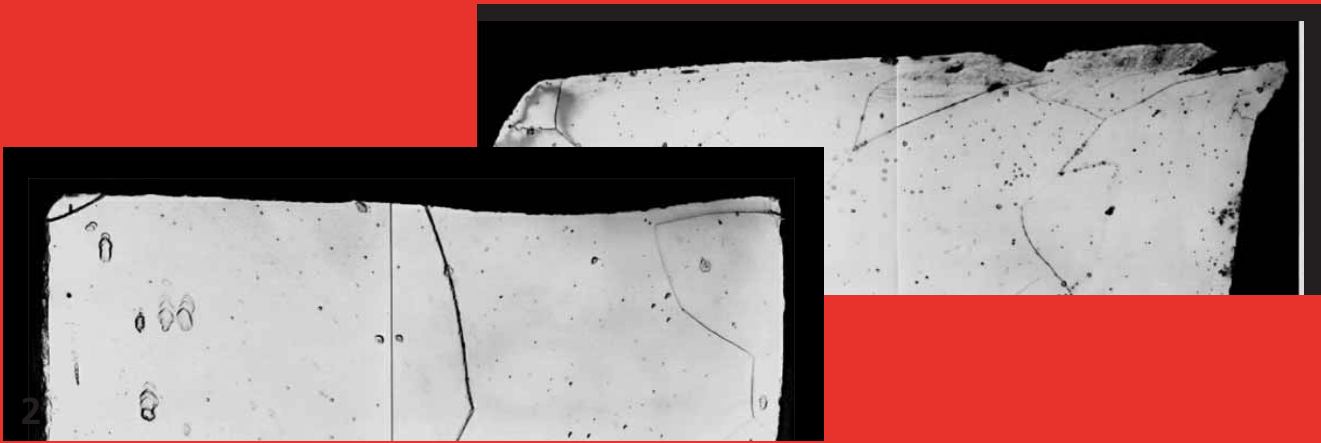
Elektrobleche sind in der Regel Feinbleche, d. h. Material mit einer Dicke von kleiner 3 mm, die in den allermeisten Fällen durch Stanzen bearbeitet werden. Klar ist, dass Bleche dieses Dickenbereiches auch sehr gut durch das Laserschneiden präzise, schnell und flexibel zu Formteilen beliebiger Konturen bearbeitet werden können. Dass dies bisher nur in bescheidenem Umfang stattfand und -findet, liegt im Wesentlichen an zwei Gründen.

Erstens zeichnet sich das Stanzen durch sehr hohe Produktivität bei - im Vergleich zum Laserschneiden - geringeren Stückkosten aus. Die dafür wesentlich höhere Flexibilität des Laserschneidens kommt bei den hohen Gleichteilestückzahlen in der Fertigung von Motoren, Generatoren, Transformatoren usw. nicht ausreichend zum Tragen.

Zum Zweiten ist Elektroblech ein Material, das aus einer Eisen-Silizium-Legierung mit besonderen weichmagnetischen Eigenschaften für die Ausbildung der magnetischen Kreise in elektrischen Maschinen besteht. Frühe Untersuchungen aus den 80er Jahren zum Laserschneiden von Elektroblech hatten gezeigt, dass das Laserschneiden als thermisches Trennverfahren diese besonderen weichmagnetischen Eigenschaften der geschnittenen Elektrobleche in ungünstiger Weise beeinflusst (Abb. 1).

1 Hysteresekurve vor (blau) und nach (rot) dem Laserschnitt (schematisch)





2 Trennkante an Elektroblech (0,5 mm dick)

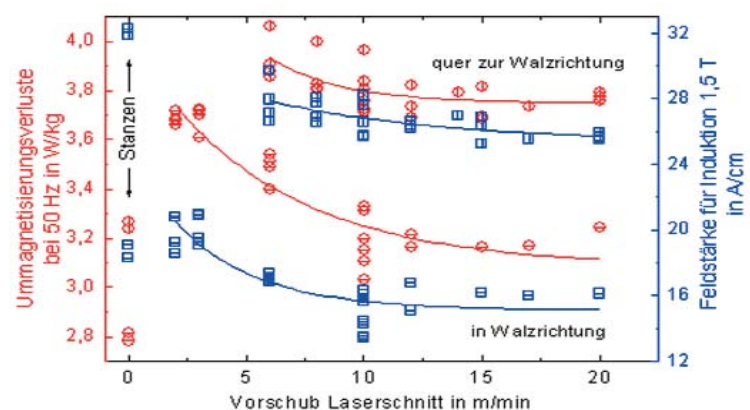
links: Laserschnitt, rechts: Stanzen

Um dem Laserschneiden von Elektroblech Auftrieb zu verleihen, waren also insbesondere diese zwei Kritikpunkte auszuräumen. In umfangreichen experimentellen Untersuchungen zum Laserschneiden an Elektroblech der Sorte V330-50A, einem nicht kornorientierten Werkstoff mit möglichst isotropen magnetischen Eigenschaften, welcher vorzugsweise für rotierende Maschinen Verwendung findet, wurde der Einfluss der Laserschneidparameter auf die Eigenschaftsänderungen untersucht.

Anfang der 90er Jahre erfolgte dies im Laserlabor des IWS mit dem CO₂-Laser RS 6000. Die Laser der DC-Reihe waren zu dieser Zeit noch nicht verfügbar. Es zeigte sich, dass trotz optisch besser aussehendem Schnittkantenprofil an lasergeschnittenen Blechstreifen (Abb. 2), eine geringe Erhöhung des Verlustwertes durch den Laserschnitt im Vergleich zu gestanzten Blechstreifen eintrat. Gleichzeitig wurde allerdings auch festgestellt, dass diese Verschlechterung des Blechverlustwertes mit zunehmender Laserschneidgeschwindigkeit verringert werden konnte.

Außerdem ergab die genaue Auswertung der umfangreichen Messreihen zu den elektromagnetischen Eigenschaften der lasergeschnittenen und gestanzten Bleche, dass die zyklische Ummagnetisierung der lasergeschnittenen Streifen weniger Energie (d. h. Ummagnetisierungsfeldstärke) erforderte, als die der gestanzten Streifen. Über diesen Vorteil des Laserschnittes war bisher in der Literatur noch nicht berichtet worden (Abb. 3).

3 Einfluß der Vorschubgeschwindigkeit beim Laserschnitt auf Ummagnetisierungsverluste und -feldstärke



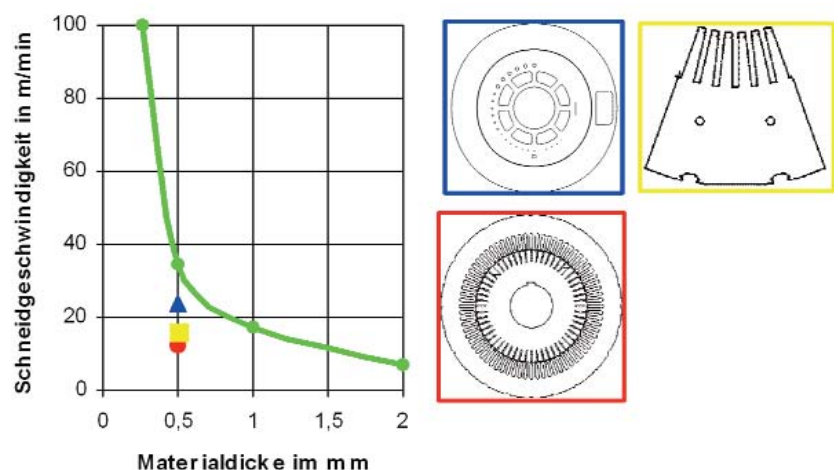


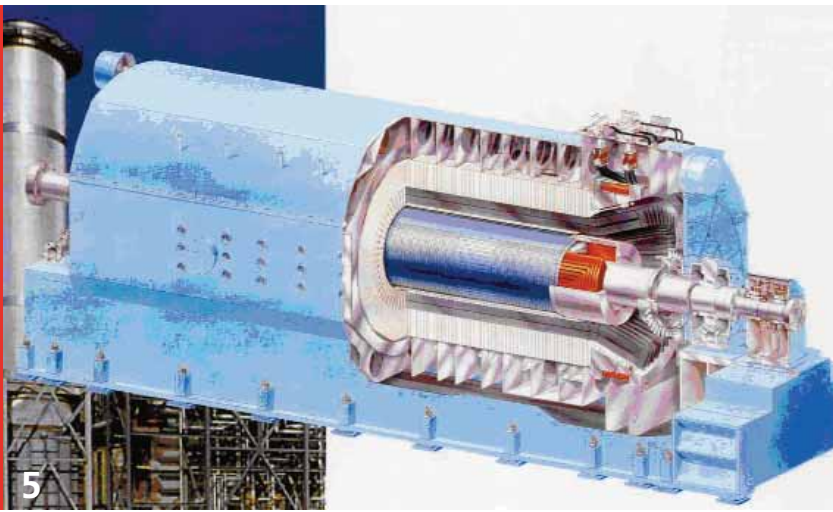
Diese und weitere Untersuchungen z. B. zur Schnittkanten- und Beschichtungsschädigung beim Laserschneiden von Elektroblech begleiteten die Einführung dieser Trenntechnologie für den Zuschnitt von Generatorsegmenten im damaligen ABB-Werk in Wroclaw (Abb. 4). Das System besteht aus spindelgetriebenen Schneidmaschinen mit je 2 Arbeitsstationen und einem CO₂-Slab-Laser (DC 015) mit 1,5 kW Ausgangsleistung. Die Zuführung des Elektrobleches erfolgte vom Coil. Gefertigt wurden Elektroblech-segmente für luftgekühlte Turbogeneratoren, die typischerweise 40 Tonnen und mehr wiegen und ca. 40000 Segmente mit bis zu 100 Segmentgeometrien enthalten (Abb. 5).

Mit dem System wurden maximale Schneidgeschwindigkeiten von 15 m / min erzielt. Entscheidende Fertigungsvorteile gegenüber den bisher gestanzten Segmenten resultierten aus der Verringerung des Stanzwerkzeugverschleißes, der aufgrund des Siliziumgehaltes im Elektroblech sehr hoch war. Außerdem erforderte die hohe Zahl verschiedene Segmentgeometrien pro Generator auch die gleiche Anzahl an kostenintensiven Stanzwerkzeugen, welche komplett eingespart werden konnten.

Mit den CO₂-Slab-Laser der DC 0xx – Baureihe stand dann in der Folgezeit ein exzellenter Schneidlaser zur Verfügung. Seine hervorragende Strahlqualität (100 µm Fokussdurchmesser bei 3,75" Brennweite und 2,5 kW Laserleistung) machte insbesondere im Dünnblechbereich enorm hohe Schneidgeschwindigkeiten als Prozessgeschwindigkeiten möglich. Leider konnten diese mit den eingesetzten Schneidanlagen im Konturschnitt am Bauteil nicht annähernd umgesetzt werden (Abb. 6).

6 mittlere Schneidgeschwindigkeit für Konturschnitte unterschiedlicher Komplexität (blau, gelb, rot) im Vergleich zur linearen Schneidprozessgeschwindigkeit für CO₂-Slab-Laser DC 025 (grün)





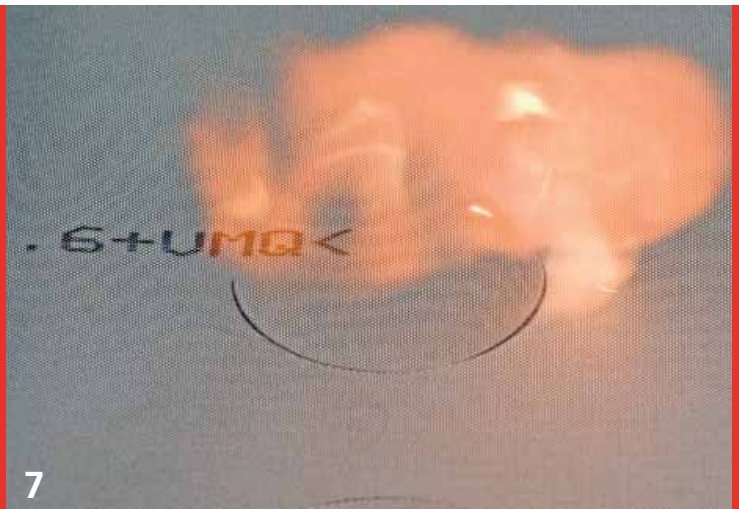
- 4 Laserschneiden von Elektroblech V330-50A
bei ALSTOM Power Generators Wroclaw,
(ehem. ABB Dolmel Ltd.)
- 5 Luftgekühlter Turbogenerator mit
lasergeschnittenen Elektroblechen

Auch die vor etwa 10 Jahren in den Markt eingeführten Laserschneidanlagen mit Lineardirektantrieben konnten das hervorragende Schneidvermögen der CO₂-Slab-Laser beim Konturschnitt an Blechdicken kleiner als 1 mm nur unvollständig umsetzen. Diese bleibende, aus wirtschaftlicher Sicht unbefriedigende Diskrepanz, führte zu verstärkten Bemühungen, für das Laserschneiden Remote - Techniken einzusetzen. In ähnlich gelagerten Problemfällen im Bereich des Laserschweißens hatten diese eine Lösung gebracht.

Kennzeichen der Remote – Bearbeitung ist es, dass der fokussierte Laserstrahl durch schwenkbare Umlenkspiegel einer Scanneroptik entlang der Schneidkontur auf dem Material bewegt wird. Die Geschwindigkeit des Laserspots kann dabei einige Meter in der Sekunde erreichen, so dass der Formschnitt auch komplexer Teile in wenigen Sekunden abgeschlossen ist.

Für das gaslose Remote-Schneiden von Metallen reichte die zur damaligen Zeit verfügbare Strahlqualität der Laser jedoch noch nicht aus. Es sollte ein weiteres Jahrzehnt vergehen, ehe die Technologie für die industrielle Einführung wieder interessant wurde. Dazu war die Entwicklung und Einführung der heute verfügbaren Faser- und Scheibenlaser Voraussetzung.

Das Laserschneiden metallischer Werkstoffe führte damals nur mit Unterstützung durch ein Schneidgas zu befriedigenden Schneidergebnissen. Somit lag es nahe, diese Bemühungen zunächst auf das Schneiden von Materialien zu konzentrieren, die im Sublimationsschnitt, d. h. ohne Unterstützung durch ein Schneidgas, mit ausreichender Qualität und Geschwindigkeit getrennt werden können. Ein Beispiel dafür ist der Zugschnitt der Formteile für die Herstellung von Airbag-Luftsäcken aus Polyamidgewebebahnen. Diese Thematik stand in den folgenden Jahren im Fokus der Forschungsaktivitäten des Fraunhofer IWS Dresden.



7 Laserschneiden von Airbagmaterial

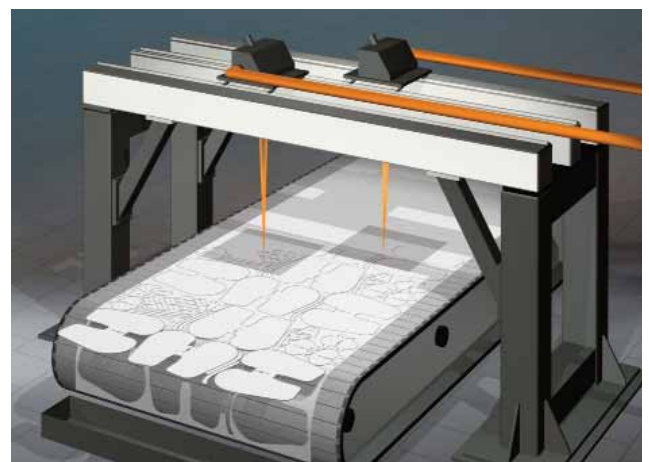
Kraftfahrzeuge werden zunehmend mit einer Vielzahl von Airbag - Typen als Teil des Insassenschutzsystems bei Unfällen ausgerüstet. Diese Typenvielfalt erfordert besonders bei der Fertigung der Luftkissen flexible und hochproduktive Anlagentechnik. Der Formschnitt dieser Luftsackteile aus bis zu 3 m breiten Polyamidgewebbahnen erfolgte bis 2007 nahezu ausschließlich durch gasunterstütztes Laserschneiden, da durch den thermischen Schnitt die Gewebekante verschmilzt und nicht ausfranst.

Bis zum Jahr 2007 waren Multilayer-Anlagen, auf denen bis zu 20 Materiallagen gleichzeitig geschnitten werden, das Maß aller Dinge. Deren Produktivität wurde kontinuierlich gesteigert. Die nach dem Mehrlagenschnitt erforderliche Separierung der teilweise noch durch Zwischenlagen voneinander getrennten Teile ist jedoch aufwändig. Außerdem ist die Schnittqualität der Einzellagen unterschiedlich, so dass bei hohen Qualitätsanforderungen die Lagenanzahl reduziert werden muss. Aufgrund dieser Nachteile des Mehrlagenschnitts wurde nach neuen fertigungstechnischen Lösungen gesucht. Ziel führend dabei war der angepasste Einsatz der Remote-Technik für den neuen Anwendungsfall Laserstrahlschneiden.

Das vom Fraunhofer IWS und der Held Systems GmbH entwickelte anlagentechnische Schneidkonzept sieht vor, die Gewebbahn kontinuierlich unter der Scanneroptik hindurch zu bewegen und dabei die gesamte Materialbreite mittels Pendelbewegung der Scanneroptik über der Gewebbahn abzudecken (Abb. 8). Dies erlaubt das Schneiden auch sehr breiter Gewebbahnen mit einem Scanner und einem Laser.

Held Systems und das IWS setzten das Konzept für die industrielle Fertigung um. Damit entstand eine neue Generation von kompakten, flexiblen und hochproduktiven Airbag-Laserschneidanlagen. Ihre Vorteile sind die gleichmäßig hohe Qualität des Einlagenschnittes und die höhere Ausbringungsleistung im Vergleich zum bisherigen Mehrlagenschnitt.

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





9 Laseranlage „Contilas 2500 1Sc.“ der Firma Held Systems Deutschland GmbH für die Airbag produktion

Abb. 9 zeigt als Beispiel die Laseranlage „Contilas 2500 1Sc.“, auf der das bis zu 2,5 m breite Gewebe bei Materialdurchlauf-Geschwindigkeiten von bis zu 20 m / min mit Genauigkeiten von 0,5 mm geschnitten werden kann. Mit den in die Industrie überführten Systemen konnten Produktivitätssteigerungen von 50 - 90 % im Vergleich zum bisherigen Mehrlagenschnitt nachgewiesen werden. Weitere Vorteile ergeben sich durch eine deutlich verbesserte Materialausnutzung und das Entfallen von Trennfolien sowie der nachträglichen Vereinzelung der Teile durch das einlagige Schneiden.

Das Remote – Laserschneiden „on the fly“ ermöglicht die Umsetzung des Sublimations-Schneidprozesses auf beliebige Schneidkonturgrößen und Materialbreiten. Durch die Kopplung von Achssystemen mit unterschiedlichen dynamischen und maschinen-technischen Kenngrößen können Produktivitätssteigerungen erzielt werden, die die Lasertechnik in vielen Bereichen konkurrenzfähig gegenüber konventionellen Trennverfahren wie Stanzen oder mechanisches Scheren werden lässt.

Das Anlagenkonzept ist auf all jene Anwendungen übertragbar, bei denen eine räumlich begrenzte hochdynamische Strahlablenkung auf große ebene Arbeitsfelder zu übertragen ist. Beispiele dafür finden sich im Bereich des flexiblen Folienzuschnitts, des Schneidens von Bezugs- und Filterstoffen oder auch des Schweißens von Wärmetauscherplatten.

Entscheidende Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung des Remote – Laserschneiden „on the fly“ war die Verfügbarkeit von Lasern mit exzellenter Strahlqualität und extrem schneller Ansteuerbarkeit, wie den CO₂-Slab-Lasern der DC 0xx – Baureihe von Rofin-Sinar Laser GmbH in Hamburg.

LASERBEHANDLUNG VON KORNIORIENTIERTEM ELEKTROBLECH ZUR FEINUNG DER DOMÄNENSTRUKTUR

Dr. Jan Hauptmann

Die Leistungsverluste in Geräten wie Transformatoren, Überträgern und Elektromotoren müssen verringert werden, um Energie zu sparen, die Eigenerwärmung dieser Geräte zu minimieren und die Frequenzabhängigkeit der magnetischen Eigenschaften zu begrenzen. Obwohl in den verfügbaren hochentwickelten weichmagnetischen Werkstoffen die Leistungsverluste durch verschiedene werkstofftechnische Maßnahmen bereits auf sehr kleine Werte gebracht wurden, gibt es immer wieder Anstrengungen, diese Verluste noch weiter zu verringern.

Als erfolgversprechend für kornorientiertes Elektroblech bzw. -band hat sich dabei die Verfeinerung der magnetischen Domänenstruktur mit gezielt eingebrachten Oberflächendefekten durch mechanisches Kratzen, Funkenerosion, Plasmaflammenbehandlung, chemisches Ätzen und nicht zuletzt durch das sogenannte Laserscratching erwiesen. Dieses Verfahren wird in unterschiedlicher technischer Ausführung auch schon großtechnisch genutzt.

Grundlage des Laserscratchings ist eine laserinduzierte lokale Temperaturerhöhung auf der Blechoberfläche, die im Inneren eine lokal begrenzte Versetzungsbildung auslöst. Dadurch wird an diesen Stellen die Struktur der magnetischen Domänen so beeinflusst, dass der dynamische Anteil der Ummagnetisierungsverlustleistung im Volumen durch eine Verringerung des Blochwandabstandes abgesenkt wird. Wenn durch geeignete Prozessparameter sichergestellt wird, dass gleichzeitig die statischen Hystereseverluste nicht oder nur geringfügig steigen, kann im Bereich der technisch interessierenden Ummagnetisierungsfrequenzen von 50 Hz (bzw. 60 Hz) eine Senkung der Gesamtummagnetisierungsverlustleistung, d. h. eine relative Verlustreduzierung für das Elektroblech erreicht werden.

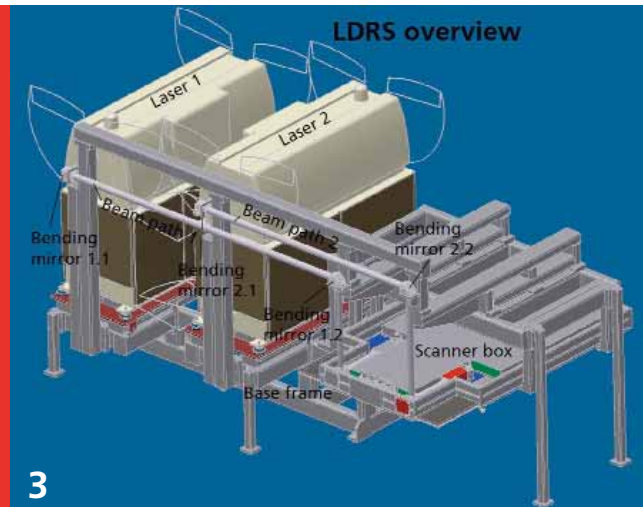


1 *Bearbeitungsprozess der Laser-Domänenfeinung*

Großtechnisch interessant ist diese Möglichkeit, wenn es gelingt, die Laserbehandlung in den vielstufigen Herstellungsprozess der kornorientierten Elektrobleche mit typischen Bandgeschwindigkeiten von etwa 80 m / min bei Blechbreiten von ca. 1 m zu integrieren. Das bedingt allerdings bei einem Abstand der Laserscratchlinien von 5 mm und Nutzung von 2 Laserstrahlquellen eine Prozessgeschwindigkeit, d. h. Vorschubgeschwindigkeit des Laserstrahlspots auf der bewegten Bandoberfläche von ca. 200 m / s.

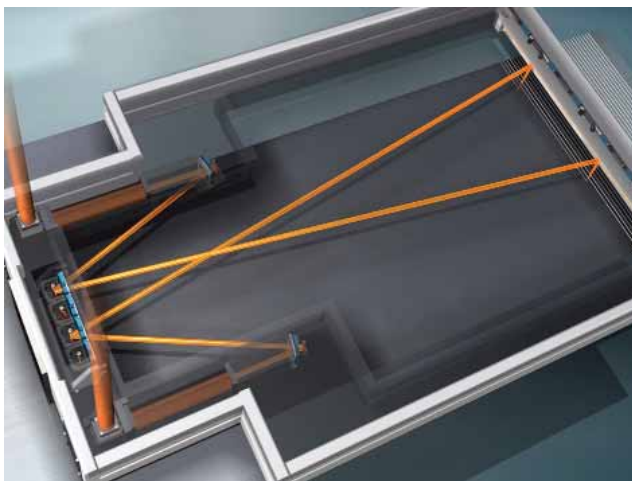
Um bei derartigen Vorschubgeschwindigkeiten eine lokal gezielte Erwärmung des Elektrobleches um einige Hundert Kelvin zu realisieren, ist der einwirkende Laserstrahlspot geeignet zu formen (Linie, Ellipse), damit einerseits die Strahlintensität im Spot begrenzt gehalten werden kann, um Schädigungen des Blechcoatings zu vermeiden und andererseits für die Zufuhr der erforderlichen Energie eine ausreichende Wechselwirkungszeit erzielt wird. Diese teilweise widersprüchlichen Forderungen erfordern eine werkstoffphysikalisch und prozesstechnisch optimierte Auslegung sowohl der Technologie, als auch der einzusetzenden Systemtechnik für ein derartiges Laserbearbeitungssystem.

Will man für die Laserbearbeitung Geschwindigkeiten im Bereich von 200 m / s erreichen, geht das nicht mehr auf konventionellem Wege z. B. mit Lineardirektantrieben. Die Lösung liegt im Einsatz der Scanner-technik, bei der der Laserstrahl durch das Verkippen sehr leichter Umlenkspiegel sehr schnell bewegt werden kann. Im Auftrag der Rofin Sinar Laser GmbH wurde in Kooperation mit der Maschinenfabrik Arnold in Ravensburg ein Anlagenkonzept entwickelt und patentiert, welches die oben genannten Forderungen erfüllt und teilweise sogar übertrifft.



Die Haupthardwarekomponenten der Laser Domain Refinement Systeme (LDRS) neuester Generation sind zwei DC 030 CO₂-Laser. Der von der Laserstrahlquelle kommende Laserstrahl wird über einen Zylinder-spiegel mit großer Brennweite in einer Dimension fokussiert. Der im Strahlengang folgende erste Scanner schaltet den Strahl auf jeweils einen der beiden Bewegungsscanner. Diese realisieren die Ablenkung auf eine Parabolspiegelleiste, die den Laserstrahl in der anderen Dimension mit kurzer Brennweite fokussiert.

2 Schematischer Strahlverlauf in der Scannerbox



Die Bearbeitungsbreite der LDR-Systeme beträgt bis zu 1400 mm bei maximalen Ablenkgeschwindigkeiten des ellipsenförmigen Spots von 250 m / s. Die Anlagen arbeiten mit zwei Lasern und zwei Strahlengängen, um 250 Linien / Sekunde auf einem 1200 mm breiten Blechband senkrecht zur Vorschubrichtung zu erzeugen. Diese in einem Abstand von ca. 5 mm angeordneten Linien bewirken im Material einen thermischen Stress, der zur Domänenverfeinerung führt.



- 3 *Schematisches LDRS-Anlagendesign*
- 4 *LDRS während der Aufbauphase bei der Maschinenfabrik Arnold in Ravensburg*

Die durch das Konsortium Rofin, Fraunhofer IWS und Maschinenfabrik Arnold installierten Systeme sind in der Lage, die Ummagnetisierungsverluste von kornorientiertem Elektroblech um bis zu 10 % zu verbessern. Erst die Kombination aus Scannertechnik und schnell ansteuerbaren DC-Lasern mit exzellenter Strahlqualität ermöglichte eine neue Generation von Anlagen für die Behandlung von Elektroblech. Die sehr guten Strahleigenschaften der diffusionsgekühlten Laser 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. Damit konnten die Unzulänglichkeiten vergangener Entwicklungen überwunden werden.

Die über Rofin weltweit vertriebenen LDR-Systeme zeichnen sich durch:

- eine hohe Flexibilität und Leistungsfähigkeit,
- die einfache Einstellbarkeit der Bearbeitungsparameter,
- konstante Bearbeitungsparameter unabhängig von der Vorschubgeschwindigkeit,
- einen durchgängigen Arbeitsbereich ohne Unterbrechungen und
- Redundanz mit Notlaufeigenschaften.

Der Erfolg des Konzeptes und des Konsortiums zeigt sich in mehreren weltweit installierten Systemen.



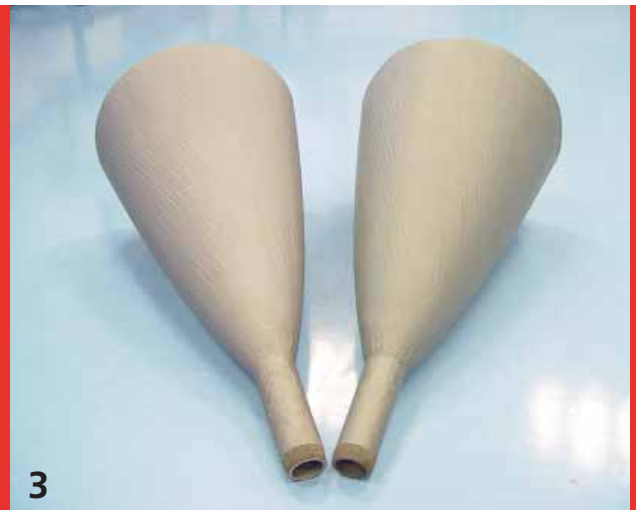
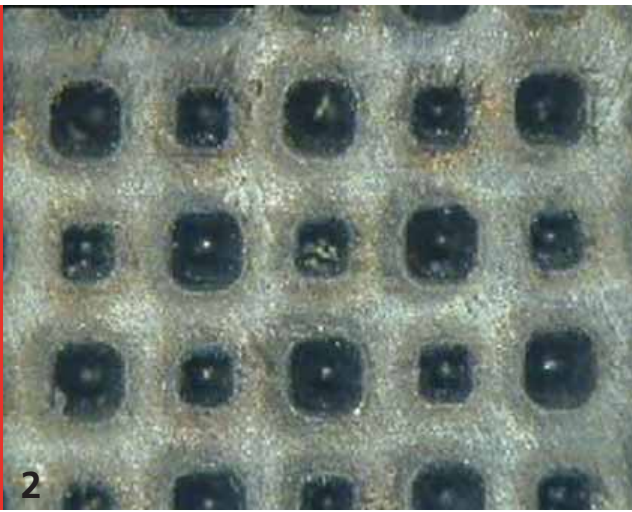
MIKROPERFORATION MIT DEM RS-MARKER FÜR HOCHFESTE KERAMIK-METALL-FÜGE-VERBINDUNGEN

Dr. Anja Techel, Dr. Jan Hauptmann

Für hoch belastete Bauteile der Raumfahrttechnik kommt zunehmend kohlefaserverstärkte SiC-Keramik zum Einsatz (C/SiC). Das erfordert auch die Beherrschung der Verbindungstechnik zwischen den keramischen Komponenten und den übrigen metallischen Baugruppen. Ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieser Aufgabe ist das Einbringen einer Mikroperforation in die Oberfläche der C/SiC-Keramik im Bereich der Fügezonen. In anschließenden Arbeitsschritten wird diese mit Metall aufgefüllt und mit den metallischen Komponenten verbunden.

2005 wurde das IWS erstmals mit der Aufgabe betraut, eine Technologie zur definierten Einbringung der Mikroperforation zu entwickeln und ihre Parameter im Hinblick auf höchste Verbindungsfestigkeiten zu optimieren. Für diese Aufgabe kam der Markierlaser von Rofin Sinar RSM 100D zum Einsatz, ein gütegeschalteter Festkörperlaser. Dieser Laser ist das Werkzeug, mit dem sich die Materialkombination bestehend aus Kohlenstofffasern und keramischer Matrix wirtschaftlich bearbeiten lässt (Abb. 1).

Die Perforation besteht aus einer definierten Anordnung von lasergebohrten Löchern mit vorgegebener Außenkontur und Tiefe (Abb. 2). Diese Löcher wurden durch Verdampfen der C/SiC-Keramik mit dem fokussierten Strahl des RS-Marker erzeugt. Bei geeigneten Prozessparametern konnten sowohl die SiC-Matrix als auch die Kohlenstofffasern durch den kurzgepulsten Laserstrahl überwiegend verdampft werden und dies weitgehend ohne thermische Schädigung der umliegenden Materialbereiche. Die geforderte Lochgeometrie wurde durch gezielte Bewegung des fokussierten Laserstrahls mit einer Scanneroptik eingestellt. Mehrfaches Abfahren der Kontur ermöglichte die Einstellung unterschiedlicher Perforationstiefen.



- 1 *Lasermikroperforationsprozess an einem Produktionsmuster*
- 2 *Detailaufnahme einer Oberfläche mit Mikroperforation*
- 3 *Produktionsmuster mit Umfangs- und Stirnseitenperforation (Düsenlänge ca. 70 cm)*

Die Optimierung der Mikroperforation erfolgte an Hand von Festigkeitsuntersuchungen an der damit erzeugten Metall-Keramik-Verbindung. Dafür wurden problemangepasste Prüftechniken und Prüfkörper entwickelt.

Die Lasertechnologie ermöglicht das flexible Einbringen verschiedener Lochgeometrien und -anordnungen in den Verbundwerkstoff, ohne dessen Festigkeit negativ zu beeinflussen. Durch definierte Variation der Perforation ist die Festigkeit der Fügeverbindung einstellbar. Im vorliegenden Fall ist die optimale Mikroperforation gekennzeichnet durch Löchern, deren Breite im Bereich von 0,6 - 0,8 mm liegt und deren Tiefe von 0,7 - 1,1 mm reicht. Damit wurden die höchsten Festigkeitswerte der Verbindung Metall-Keramik erzielt. Sie sind dreifach höher, als die des Grundwerkstoffes. Dies führt im Versagensfall stets zum Bruch im keramischen Grundwerkstoff und nicht in der Verbindungszone.

Das Verfahren findet derzeit Anwendung bei der Perforation von Demonstratoren und Produktionsmustern, wie sie beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt sind. Sowohl stirnseitig als auch auf dem Umfang werden die Bauteile mit einer Mikroperforation versehen. Bis heute wird diese Technologie bei der Bearbeitung von Prüfmustern und Prototypen für Applikationen in Luft- und Raumfahrt sowie weiterer Hochtemperaturanwendungen genutzt.



The logo for Laser-Arc, featuring a stylized, metallic-looking arc above the text "Laser-Arc" in a bold, sans-serif font. A small black circle is positioned at the end of the arc.

LASER IN DER BESCHICHTUNGS- TECHNIK – DAS LASER-ARC-MODUL DES IWS

Dr. Anja Techel

Anfang der 90er Jahre begannen im Fraunhofer IWS die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Herstellung superharter amorpher Kohlenstoffschichten. Die unter dem Namen Diamor® verbreiteten Schichten haben sich schon nach kurzer Zeit als verschleißbeständige, reibungsarme Schutzschichten bei einer Vielzahl von Werkzeugen und Komponenten unter industriellen Einsatzbedingungen bewährt. Durch ihre Kombination von sehr hoher Härte (40 bis 60 GPa) mit exzellenten Gleiteigenschaften, die insbesondere unter Minimalmengen- oder Mangelschmierung zum Tragen kommen, erlauben diese neuartigen Schichten die Lösung vielfältiger tribologischer Probleme.

Der Erfolg dieser Schichten ist in entscheidendem Maße auf den Einsatz eines gepulsten Lasers zurückzuführen. Wurden kohlenstoffbasierte PVD-Schichten bisher mittels ungesteuertem Gleichstrombogen oder Laserablation hergestellt, setzten die Forscher des IWS erstmals einen gepulsten Laser zur Steuerung des Lichtbogens ein. Mit dem Pulslaser RSY Q-Switch wurden im Vergleich zum Stand der Technik deutlich glattere Schichten erzielt. Zudem konnten die zylindrischen Katoden auf eine technisch interessante Größe aufskaliert und durch einen wesentlich gleichmäßigeren gesteuerten Abtrag besser ausgenutzt werden. Daraus resultierten Kosten- und Qualitätsvorteile.

Mit dem laser-gesteuerten Vakuumbogen (Laser-Arco™) stand sehr bald eine erprobte Abscheidetechnologie für die exzellenten superharten Diamor®-Schichten zur Verfügung. Die wachsende Nachfrage nach den Schichten führte sehr bald zu der Frage: wie gelingt es, viele kleine oder große, komplex geformte Bauteile und Werkzeuge haftfest, prozesssicher und nicht zuletzt wirtschaftlich zu beschichten?



1



2

- 1 PVD-Anlage der Firma Metaplas Ionon (Frontansicht)
- 2 mit installiertem Laser-Arc-Modul (Rückseite)

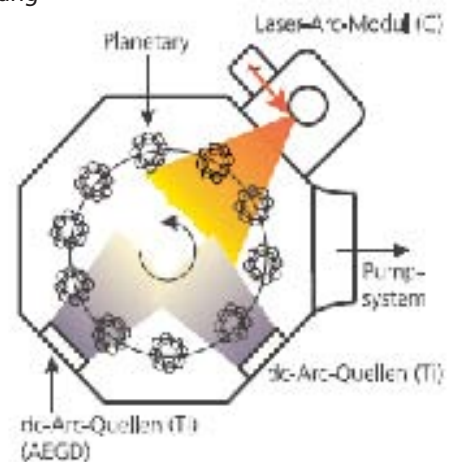
Durch die Beteiligung des IWS am Dortmunder OberflächenCentrum (DOC) des ThyssenKrupp-Konzerns ergab sich 2001 die Möglichkeit, eine Standard-PVD-Anlage der Firma Metaplas Ionon für die konventionelle Hartstoffbeschichtung mit einem speziell entwickelten System zur Diamor®-Abscheidung zu kombinieren (Abb. 1). Dabei wurde ein Laser-Arc-Modul (LAM) an der Rückseite der Kammer angebracht (Abb. 2).

Im Laser-Arc-Modul wurden alle wesentlichen technologischen Komponenten für die Diamor®-Beschichtung integriert und mit der erforderlichen Laserstrahlführung und Impulsstromquelle kombiniert. So entstand eine in sich geschlossene technologische Komponente mit entsprechender Prozesssteuerung. Die Laser-Arc-Quelle besteht aus einer walzenförmigen Graphitkathode, die in einer separaten Quellenkammer angeordnet wurde. Durch eine rechteckige Flanschöffnung kann diese mit einer Standard-PVD-Anlage verknüpft werden.

Das Laser-Arc-Modul wurde von Anfang an so konzipiert, dass eine Nachrüstung konventioneller Beschichtungsanlagen mit dem System möglich ist (Abb. 3). Dieser Lösungsweg bietet mehrere Vorteile:

- wesentliche Komponenten (z.B. Substrathalter, Planetary) und technologische Standardprozesse der Basis-PVD-Anlage (Vakuumerzeugung, Plasmareinigung, Gasdosierung, Prozesssteuerung u.a.) stehen auch für die Diamor®-Beschichtung zur Verfügung.
- Standardprozesse der konventionellen Hartstoffbeschichtung können beliebig mit der Diamor®-Beschichtung kombiniert werden.

- 3 Anlagenkombination, bestehend aus konventioneller Hartstoffbeschichtung und Diamor®-Beschichtung





- 4 *Laser-Arc-Beschichtungsanlage in Lansing (USA)*
- 5 *FlexiCoat 1000 Beschichtungsanlage mit integriertem Laser-Arc-Modul LAM400*
- 6 *Laser-Arc-Modul an einer VTD-Anlage im IWS*

Auf Basis der im Dortmunder OberflächenCentrum gesammelten Erfahrungen wurde das Modul-Konzept so überarbeitet, dass es für die in der Lohnbeschichtung vielfach eingesetzten Batch-Coater mit einer Arbeitshöhe von ca. 500 mm eingesetzt werden kann. Durch Kombination mehrerer Module ist dieses Konzept leicht auf größere Anlagentypen übertragbar.

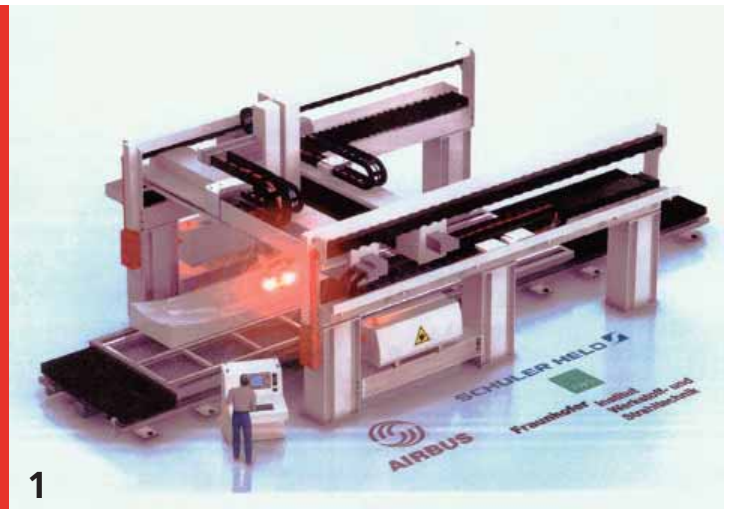
2004 wurde ein solches System in der Außenstelle des IWS in Lansing (USA) installiert (Abb. 4). Dort dient es bis heute zur Beschichtung von Fräs- und Bohrwerkzeugen für die Leicht- und Buntmetallbearbeitung.

2006 erfolgte die Integration der Diamor®-Technologie mit dem Laser-Arc-Modul LAM400 in die Beschichtungsanlage FlexiCoat 1000® von Hauzer Techno Coating (NL) (Abb. 5). Mit deren Übergabe an einen führenden Automobilzulieferer wurde ein entscheidender Schritt zur umfassenden industriellen Einführung der Diamor®-Schichten auf der Basis der Laser-Arc-Technologie vollzogen.

Gemeinsam mit der Firma VTD wird das LAM-Modul in den Folgejahren weiter optimiert. Im Mittelpunkt der Entwicklung steht die Integration eines Plasmafilters, der die Abscheidung extrem glatter, defektfreier Schichten für anspruchsvolle Gleitkomponenten ermöglicht. 2009 wurden im IWS zwei neue Anlagen für die Abscheidung von Diamor®-Schichten in Betrieb genommen (Abb. 6). Fester Bestandteil der Anlagen ist der Laser SMP 100 der Firma Roфин Sinar.

Mit dem im Juli 2009 gestarteten Forschungsprojekt PEGASUS werden im Verbund mit Automobilisten und deren Zulieferern neue Applikationen für die Diamor®-Beschichtung erarbeitet. Eine Beschichtungstechnologie steht kurz vor ihrer Etablierung in die Serienfertigung.





TECHNOLOGIEN ZUM LASERSTRAHL- SCHWEISSEN FÜR INNOVATIVE INTEGRALE RUMPFSCHALEN VON GROSSRAUMFLUGZEUGEN

Dr. Jens Standfuß

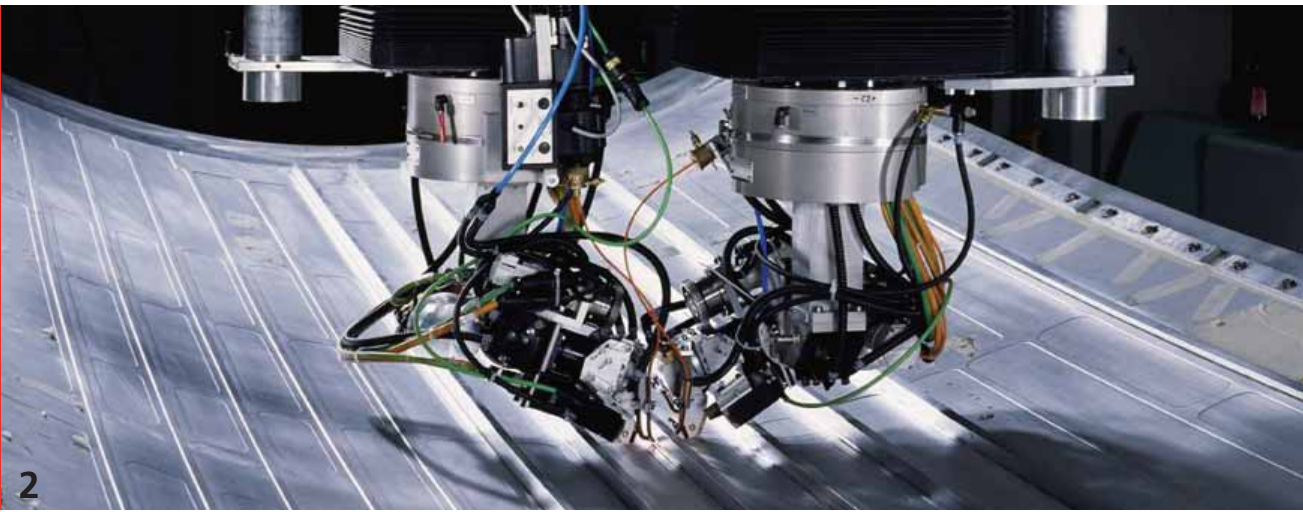
Laserstrahlgeschweißte Stringer-Haut-Verbindungen werden seit mehreren Jahren erfolgreich im Unter-rumpfbereich der Airbusmodelle A318, A340-600 und A380 eingesetzt. Die Technologieentwicklung des IWS in Kombination mit Lasern von RoFin Sinar hat entscheidend dazu beigetragen.

Bei einem charakteristischen Hautfeld des Airbus A318 waren früher ca. 170 Clips mit dem Hautfeld zu vernieten. Für den Flugzeughersteller bedeutete das einen enormen Fertigungsaufwand und unnötiges Strukturgewicht durch die relativ breiten und dicken Nietsockel. Das Laserstrahlschweißen bietet gegenüber dem Nieten zwei entscheidende Vorteile:

- eine deutliche Reduzierung von Herstellungskosten und
- die Verringerung von Strukturgewicht.

Die Umsetzung der Laserstrahlschweißtechnologie im industriellen Größenmaßstab für die genannten Anwendungen im Bereich der Luftfahrt erforderte umfangreiche technologische Untersuchungen und gänzlich neue Maschinenkonzepte. Das beidseitig-gleichzeitige Laserstrahlschweißen von großen, sphärisch gekrümmten 3D-Bauteilen in beliebigen Raumrichtungen mit gleichzeitiger Bauteilspannung für das Fügen von Stringer-Haut- sowie Clip-Haut-Verbindungen stellt für die Forscher eine große Herausforderung dar.

2001 wurde am Fraunhofer IWS gemeinsam mit industriellen Partnern ein neuartiges Prinzip für eine Laserstrahlschweißanlage realisiert (Abb. 1). Abweichend von bisherigen Anlagenkonzepten sollte mit feststehenden Strahlquellen gearbeitet werden, damit eine ausreichend hohe Maschinendynamik erzielt werden kann. Geeignete Laser waren eine Grundvoraussetzung für die Umsetzung dieses Konzeptes.

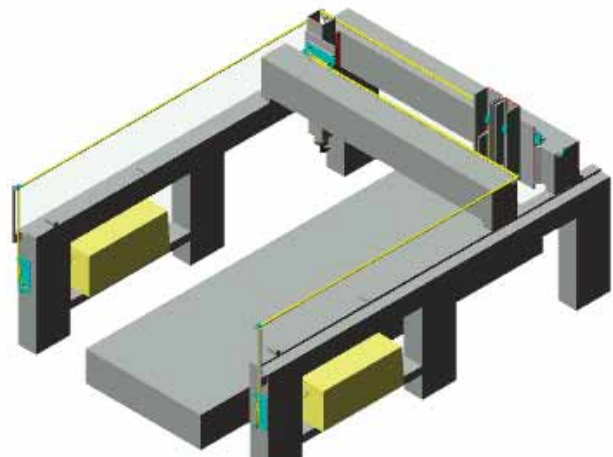


2

- 1 *Doppel-Gantry-Anlage zum beidseitig-gleichzeitigen Schweißen großformatiger Luftfahrtstrukturen*
- 2 *beidseitig-gleichzeitiges Laserschweißen von Stringer-Haut-Verbindungen*

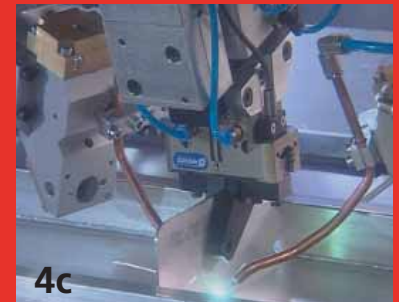
Wegen ihrer kompakten Bauform und ihrer geringen Strahldivergenz boten sich Rofin Sinar Laser der DC-Serie an. Berechnungen im Vorfeld zeigten, dass es möglich ist, bei Verwendung von DC 045-Lasern mit Hilfe von festen defokussierenden und fokussierenden Teleskopen konstante Fokussierbedingungen im gesamten Arbeitsraum von 3 m x 10 m bei Strahlweglängen von bis zu 25 m zu gewährleisten (Abb. 3). Theoretisch war die Grundvoraussetzung damit erfüllt. Für die Nutzung der Anlage sowohl mit CO₂-Lasern als auch mit Festkörperlaser wurde die Maschine in kartesischer Bauart ausgeführt.

- 3 *Anlagenkonzeption und Prinzip der kartesischen Strahlführung mit festen Teleskopen*



Der Grundaufbau des Schweißportals besteht in einer Gantry-Anlage mit zwei unabhängig verfahrbaren Y-Brücken. Die zwei daran befestigten Z-Achsen mit unabhängig voneinander dreh- und schwenkbaren Einheiten tragen die beiden Schweißköpfe einschließlich der optischen Sensoren zur online-Detektion der Fügeposition und der Zuführung des Schweißzusatzwerkstoffes. Eine dritte und vierte Z-Achse enthalten eine auch im Raum dreh- und schwenkbare Plattform zur Führung und Positionierung der Stringer und Clips (Abb. 4) bzw. einen Fräskopf, mit dessen Hilfe effektiv lokale mechanische Bearbeitungen der Schweißnaht vorgenommen werden können.

Neben einer besonders großen Flexibilität bietet die entwickelte Lösung als Kombination einer Gantry-Anlage mit fliegender Optik und einem zusätzlichen Bewegungstisch für die Baueile insbesondere die Vorteile deutlich verbesserter Beschleunigungswerte für die Bauteil-Relativbewegung, eines verringerten Platzbedarfes und einer geringeren Änderung der Strahlweglänge beim Schweißen mittels CO₂-Laser.



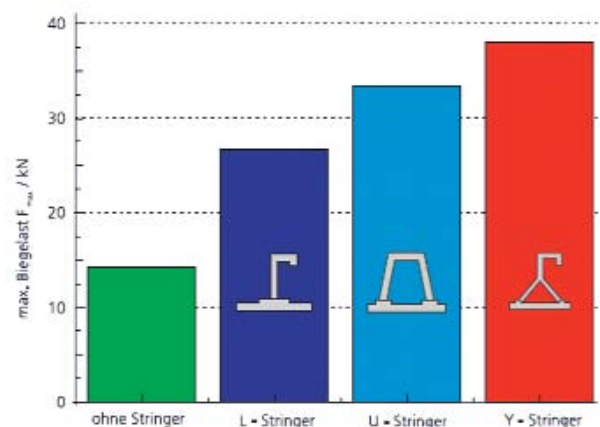
4 Automatisiertes Laserschweißen von Clip-Haut-Verbindungen, Spannen und Positionieren (a), geschweißtes Hautfeld (b), Schweißprozess (c)

Die Auslegung der sehr komplex beanspruchten Struktur eines Flugzeugrumpfes erfolgt unter Berücksichtigung von statischen Lasten und Kriterien sowie Ermüdungs- und Schadenstoleranzkriterien, wie Ermüdungsfestigkeit, Rissfortschrittgeschwindigkeit und Restfestigkeit.

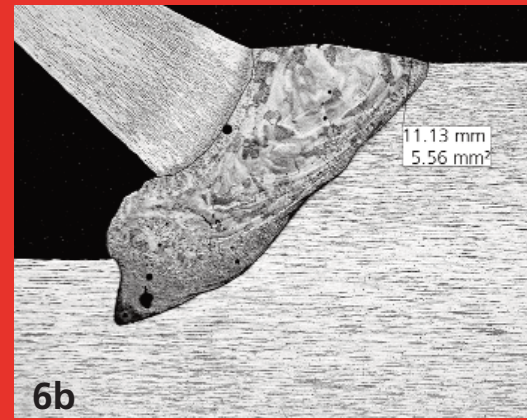
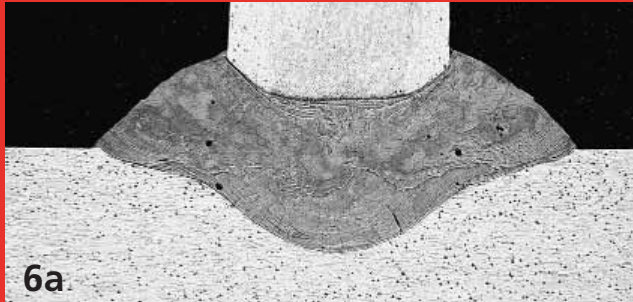
Die grundlegenden Untersuchungen zu den Eigenschaften laserstrahlgeschweißter Verbindungen des Fraunhofer IWS konzentrieren sich zur Zeit auf die bereits bei der Fa. Airbus im Einsatz befindlichen Legierungen der 6xxx-Reihe sowie zukünftiger ALLi- und AlMgSc-Legierungen. Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist dabei die Bewertung des Schweißnaht-Undermatchings und den darauf fußenden Entwicklungen zu dessen schweißtechnologischer Reduzierung und strukturmechanischer Kompensation.

Neben Untersuchungen zur weiteren Verbesserung der sich in der individuellen Anwendung befindlichen Stringer-Haut-Verbindungen sollen auch weiterreichende Ansätze entwickelt werden. Gemeinsam mit Airbus wurde ein neuartiger Y-Stringer entwickelt, welcher über die zwei Schenkel mit dem Hautblech stoffschlüssig verschweißt wird. Der Vergleich eines im Biegeversuch getesteten Y-Stringers mit einem L-förmigen Standardstringer verdeutlicht für den Fall der Druckbelastung des Stringerkopfes das günstigere Verformungsverhalten des Y-Stringers (Abb. 5).

5 Maximale Biegebelastung im 10-Punkt-Biegeversuch für verschiedene Stringergeometrien



Weitere Untersuchungen mit jeweils durch Aussparungen periodisch unterbrochener Schweißnaht bestätigen, dass mit einer Unterbrechung der Schweißnaht durch s. g. Mouse holes definierter Anordnung und Geometrie sowie einem optimalen Festigkeits- und Verformungsverhalten des Schweißgutes eine deutliche



6 *Querschliff einer beidseitig-gleichzeitig geschweißten Stringer-Haut-Verbindung (a) und einer neuartigen Y-Konfiguration (b)*

Verbesserung der Schadenstoleranz geschweißter Stringer-Haut-Verbindungen möglich ist. Damit kann das Laserstrahlschweißen zukünftig auch gewichts- und kostenmindernd in Schub-Druck-belasteten Rumpfbereichen eingesetzt werden.

Ein zentraler Punkt für den Einsatz geschweißter Integralstrukturen ist die Verbesserung des Schadenstoleranzverhaltens gegenüber der herkömmlichen, differentiellen Bauweise. Bekanntlich liegen die Eigenschaften von lasergeschweißten Haut-Haut-Verbindungen bei statischen Belastungen sowie im Hinblick auf die Rissausbreitung im Schweißgut und die Restfestigkeit unter den Werten des Grundwerkstoffes. Verfolgt man das Ziel einer vollständig lasergeschweißten integralen Struktur, welche auch Haut-Haut-Verbindungen enthält, muss vorrangig deren Festigkeits- und Schadenstoleranzverhalten verbessert werden.

Dazu bieten sich zwei Erfolg versprechende Wege an: die Verringerung der Beanspruchung im Schweißnahtbereich sowie die Veränderung des Schweißnahtverlaufes in Bezug auf die äußere Belastungsrichtung. Dazu wurden erstmalig nichtlineare Schweißkonfigurationen entwickelt und erprobt, deren Rissfortschritts- und Restfestigkeitswerte vergleichbar mit denen des ungeschweißten Hautwerkstoffes sind. Die Untersuchungen zeigen, dass die Ansätze der Wissenschaftler des Fraunhofer IWS für flugzeugtypische Blechdickenbereiche sehr erfolgversprechend sind.

Innovative metallische geschweißte Rumpfstrukturen bieten ein hohes Potenzial zur Einsparung von Gewicht und Fertigungskosten. Insbesondere neue, in der Entwicklung und Erprobung befindliche Werkstoffe wie AlMgSc-Legierungen sind dabei für geschweißte Integralstrukturen interessant. Dies betrifft vor allem deren verbesserte Schweißbarkeit gegenüber den derzeit für lasergeschweißte Strukturen eingesetzten Werkstoffen der 6xxx-Reihe sowie deren Kriechformbarkeit. Dies ermöglicht weitere Einsparungen in der Prozesskette insbesondere hinsichtlich der Verzugsminimierung durch Kriechformen als finalen Fertigungsschritt bei der Panelherstellung nach dem Schweißen.

LASERSTRAHLSCHWEISSEN IM GETRIEBEBAU – EINE ERFOLGSGESCHICHTE

Uwe Stamm

Betrachtet man die Komplexität eines modernen Automobils hinsichtlich des Aufbaus von Antriebsstrang und Fahrwerk wird deutlich, wie viele Fügeprozesse allein in diesen beiden Systemen Anwendung finden. Bis vor ca. 16 Jahren wurde in diesen Bereichen fast vollständig auf das wirtschaftlich interessante Schweißen als Fügeverfahren verzichtet. Dies war zum einen in der schlechten Schweißbeugung einiger typischer hochfester Materialpaarungen, zum anderen auch in der deutlich geringeren Leistungsdichte der damals im großtechnischen Einsatz verfügbaren, konventionellen Schweißtechnik, begründet.

In der Praxis bedeutete das, dass für die „relativ simple“ Aufgabe aus zwei Bauteilen einfach ein ganzes Bauteil zu machen, oftmals ein Umweg über ein oder mehrere zusätzliche, dritte Verbindungsbauteile genommen werden musste. Im Konkreten handelt es sich dabei um Nieten, Schrauben, Sicherungsringe, Federn, Keile, Stifte, Schellen, Splinte, Hülsen oder andere Verbindungselemente. Alle diese Verbindungselemente setzen gleichfalls auch zusätzlichen Bearbeitungs- und Materialaufwand an den zu verbindenden Bauteilen voraus, um deren Verbindungsfunktion erfüllen zu können. Zum Beispiel sind das Bohrungen, Nuten oder auch notwendige Materialzugaben. Viele reale Bauteilkonstruktionen stellen daher einen vom Ingenieur ungeliebten Kompromiss aus gutem funktionalem Design und den tatsächlichen, eingeschränkten fügetechnischen Möglichkeiten dar. Ingenieure suchen hier seit langem nach guten Möglichkeiten für ergiebigere Kompromisse.

Mit der Entwicklung von Lasern mit höheren Strahlqualitäten und Leistungsdichten konnten die Grenzen beim Schweißen von Bauteilen aus schwer schweißbaren Stählen deutlich erweitert werden. Einen zusätzlichen neuen Schub brachten die vom Fraunhofer IWS vorangetriebenen Entwicklungen zur gezielten Bauteilbeeinflussung durch angepasste Wärmeführung und schweißmetallurgische Einflussnahme während des Laserstrahlschweißprozesses.



- 1 Auswahl verschiedener Differenzialgetriebe in der Werkstoffkombination Gusseisen / Stahl, lasergeschweißt mit werkstoffangepasstem Schweißzusatzwerkstoff
- 2 Getriebeschweißanlage des IWS mit 8 kW-CO₂-Laser

Für diese Entwicklungen stehen heute drei wesentliche Technologien – zum einen das einfache Laserstrahlschweißen, das Laserinduktionsschweißen mit einem in den Schweißprozess integrierten, lokalen induktiven Wärmeeintrag und zum dritten das Laserstrahlschweißen mit werkstoffangepasstem Schweißzusatzwerkstoff. Während die beiden ersten in Abstufungen geeignet sind, niedrig- und unlegierte Vergütungsstähle bis zum eutektoiden Kohlenstoffgehalt effektiv rissfrei zu schweißen, ermöglicht die dritte Entwicklung in Kombination mit einer spezifischen Schweißnahtvorbereitung, angepassten Steifigkeitsverhältnissen und optimierten Laserstrahlparametern fehlerfreie Schweißverbindungen sogar mit Gusseisen. Für alle drei Technologien sind die Strahlqualitäten der DC Laser vorteilhaft.

Eine in diesem Kontext hervorzuhebende Erfolgsgeschichte ist das Laserstrahlschweißen von Differenzialgetrieben. Noch vor wenigen Jahren wurden diese Getriebe im Pkw-Bereich vollständig geschraubt oder vernietet. Dies lag bisher in der nicht für die unter Großserienbedingungen herzustellenden Mischverbindungen aus hochfestem, mehrfachlegierten Einsatzstahl und hochkohlenstoffhaltigen Gusseisen geeigneten konventionellen Schweißtechnik begründet, mit der keine sicher rissfreien Schweißnähte erzeugbar waren. Bisher löste man dieses metallphysikalische Fügeproblem einfach durch die Verwendung von Schraubverbindungen. Diese, ausschließlich kraftschlüssige Verbindung, wurde durch eine Vielzahl von Gewindebohrungen in Differenzialkorb und Zahnrad und den entsprechend erforderlichen Schrauben, Unterlegscheiben und Sicherungsringen hergestellt.

Es ist leicht vorstellbar, welchen hohen Material- und Energieeinsatz und Fertigungsaufwand ein solcher Fügeprozess in der Großserien- und Massenfertigung erfordert. Derzeit laufen dagegen bei fast allen deutschen Automobilherstellern und -zulieferern Bestrebungen, die konventionell geschraubte Variante durch eine lasergeschweißte zu ersetzen (Abb. 1). Das IWS mit seinen Laserschweißanlagen (Abb. 2) ist ihr Entwicklungspartner.



3 *Prozesskettenverkürzung durch Laserstrahlschweißen mit einem Laser DC 060 mit Zusatzwerkstoff und Ersatz aufwändiger und gewichtsintensiver Schraubverbindungen an Differenzialgetrieben; links: lasergeschweißtes Differenzial; rechts: konventionelle Schraublösung,*

Durch die Entwicklung der hochleistungsfähigen Laserschweißtechnologie können Differenzialgetriebe, so z. B. bei ZF Achsgetriebe GmbH in Gotha, in weniger als 15 Sekunden ohne Zuhilfenahme weiterer Schraubverbindungen gefertigt werden. Dadurch wurden neue konstruktive Freiheitsgrade in der technischen Gestaltung der Bauteile mit bedeutenden Chancen für echte Leichtbaukonstruktionen mit minimalem Raumbedarf von Differenzialgetrieben eröffnet. Gewichts- und Materialeinsparungen von 1-2 kg wurden je nach Größe eines Pkw-Differenzialgetriebes möglich (Abb. 3).

Die Optimierung des Schweißzusatzwerkstoffes ermöglicht es, im Zusammenhang einer angepassten Konstruktion der Fügepartner mit optimalen Steifigkeitsverhältnissen, sogar die Werkstoffkombination Gusseisen / Gusseisen rissfrei zuschweißen. Das gestattet neue Designfreiräume für besonders Gewicht und Platz sparende Konstruktionen, wie zum Beispiel das in Abb. 4 abgebildete Torsen-Differential.

Das Schweißen solch schwierig schweißbarer Werkstoffe erfordert neben den angepassten Zusatzwerkstoffen und Steifigkeiten auch eine exakte Strahlführung, eine genaue Bauteilpositionierung und -bewegung, eine Schweißnahtüberwachung und Schweißnahtreinigung. Neue Maschinenkonzepte mit integrierter Laseranordnung, feststehendem Laserstrahl und sehr robuster Spanntechnik erlauben die dazu nötige genaue Führung des Laserstrahls (Abb. 5) bei gleichzeitig geringen Taktzeiten.

Zur Online-Überwachung der Schmelzbaddzusammensetzung als einer Grundvoraussetzung zum qualitätsgerechten Schweißen von Gusseisen / Stahl-Verbindungen wurden spektroskopische Überwachungsverfahren entwickelt und eingesetzt. Der Reinigung der Fügestelle dienen Technologien, die sowohl mit einer speziellen Strahlformung des Schweißlasers wie auch mit speziellen Kurzpulslasern arbeiten können.



- 4 *neuartiges Bauteildesign durch Laserstahlschweißen mit Zusatzwerkstoff; Laser DC 040; Mischverbindung: Gusseisen / Gusseisen*
- 5 *Laserschweißanlage zum Fügen von Torsen-Differenzialen: Typ: EMAG ELC250 DUO mit aufgeschaltetem Laser DC 040; Kunde: AAM, Poland, Olawa*

Der durch stetige Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Laserstrahltechnologie in den letzten Jahren erreichte Stand der Technik hat dazu beigetragen, das Laserstrahlschweißen zu einem der wirtschaftlichsten und energieeffizientesten Fügeverfahren zu etablieren. Die sehr hohe Leistungsdichte des Laserstrahls als Bearbeitungswerkzeug ermöglicht es, auch Bauteile aus bereits gehärteten Stählen verzugsfrei und mit hohen Schweißgeschwindigkeiten zu fügen. Besonders vorteilhaft sind dabei die einfache Automatisierbarkeit und die verschleißfreie, weil berührungslose Arbeitsweise. Dies ist in höchstem Maß für die durch Massenproduktion gekennzeichnete Automobilindustrie interessant.

Insbesondere die nachhaltige Zusammenarbeit mit den Systemherstellern EMAG, EFD und ARNOLD hat sich dabei positiv ausgezahlt. Heute können Industriekunden mit den unterschiedlichsten Anforderungen an die Schweißnahtqualitäten, Bauteildesign oder Stückzahlen auf ein leistungsfähiges Netzwerk kompetenter Systemanbieter zurückgreifen. Ausdruck dessen sind die vielfach durch das IWS Dresden betreuten Industrieüberführungen dieser Technologie bei namhaften Automobilherstellern in Europa und Übersee.





ROFIN-SINAR-LASER DC 020 UND DY 044 ZUM AUFTRAGSCHWEISSEN UND GENERIEREN

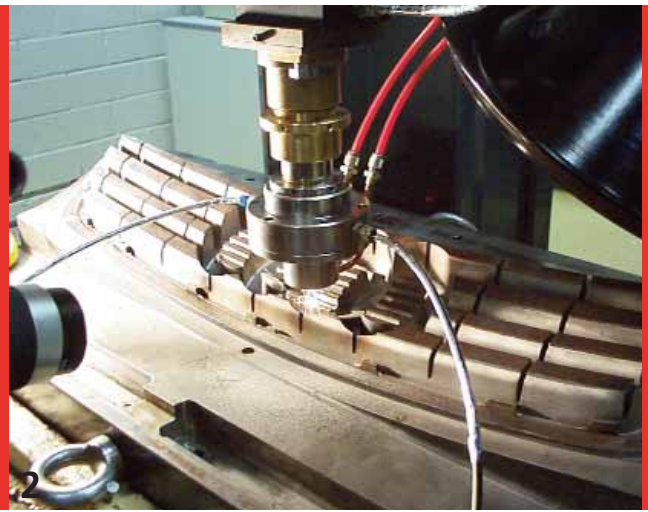
Dr. Steffen Nowotny

In den frühen 90er Jahren steckte das Auftragschweißen mit Lasern gewissermaßen noch in den Kinderschuhen. Während Füge- und Schneidtechnologien schon längst Einzug in die Werkhallen gefunden hatten, begann sich mit den beschichtenden und generierenden Laserverfahren eine vollständig neue Technologieklasse in der Materialbearbeitung zu etablieren. Jeder in der Laserszene, der etwas auf sich hielt, versuchte sich in der Kunst, die exotischsten Materialien schonend und mit dem Ehrgeiz höchster Präzision auf alles, was teuer und kompliziert war, aufzutragen. Autos, Bahnen, Schiffe, Druckmaschinen – überall gab es neue Hoffnung für ungelöste Probleme. Und das Flugwesen! Man erkannte bald das Potential, Triebwerke schnell und preiswert reparieren zu können, die an vielen Stellen den klassischen Schweißverfahren nicht zugänglich waren. Seal fins und blade tips sind so klein und empfindlich, daß man sie mit einem Schweißbrenner eher zerstören denn reparieren könnte. Werkstoffauftrag im Zehntelmillimeter-Maßstab war das Gebot der Stunde, und die neue Generation der Rofin-DC-Laser kam genau richtig.

Zusammen mit den Kollegen der Maschinenfabrik Arnold rüsteten die Mitarbeiter des Fraunhofer IWS im Jahre 1997 eine Präzisions-Portalanlage mit einem der ersten DC-Laser überhaupt aus (Abb. 1). 2 kW Laserleistung waren mehr als genug, um im Verein mit der exzellenten Fokussierbarkeit die Wünsche der Anwender zu befriedigen. Erstmals konnten empfindliche Nickel- und Kobaltlegierungen in einer völlig neuen Dimension von weniger als 200 µm aufgetragen werden. So konnten Triebwerksscheiben instandgesetzt, dünnwandige Hohlkörper generiert und dem Werkzeugbauer um die Ecke geholfen werden, der durch einen Fräsfehler sonst ein Gießwerkzeug von hohem Wert verloren hätte (Abb. 2).

0 *Reparieren von Triebwerkskomponenten durch Auftragschweißen*

1 *Portalmaschine mit DC-Laser für das Laser-Auftragschweißen*



- 2 *Schnelle Hilfe für eine beschädigte Spritzgußform:
Korrektur eines Herstellungsfehlers durch formge-
bendes Auftragschweißen mit dem DC-Laser*
- 3 *Pressenstempel: links: Handauftragschweißung,
rechts: endkonturnaher, präziser Werkstoffauftrag
mit dem Laserstrahl*

Übrigens sieht man selbst bei einem nicht so fili-
granen Werkzeug den Unterschied zwischen einer
WIG-Hand- und einer Laser-Auftragschweißung -
Abbildung 3 muß man nicht kommentieren.

Wir haben mit der Maschinenkonfiguration aus dem
Jahr 1997 fast 10 Jahre lang gearbeitet, und heute
versieht genau dieser DC 020-Laser in unserer
Außenstelle in Wroclaw (Polen) weiterhin seinen
Dienst!



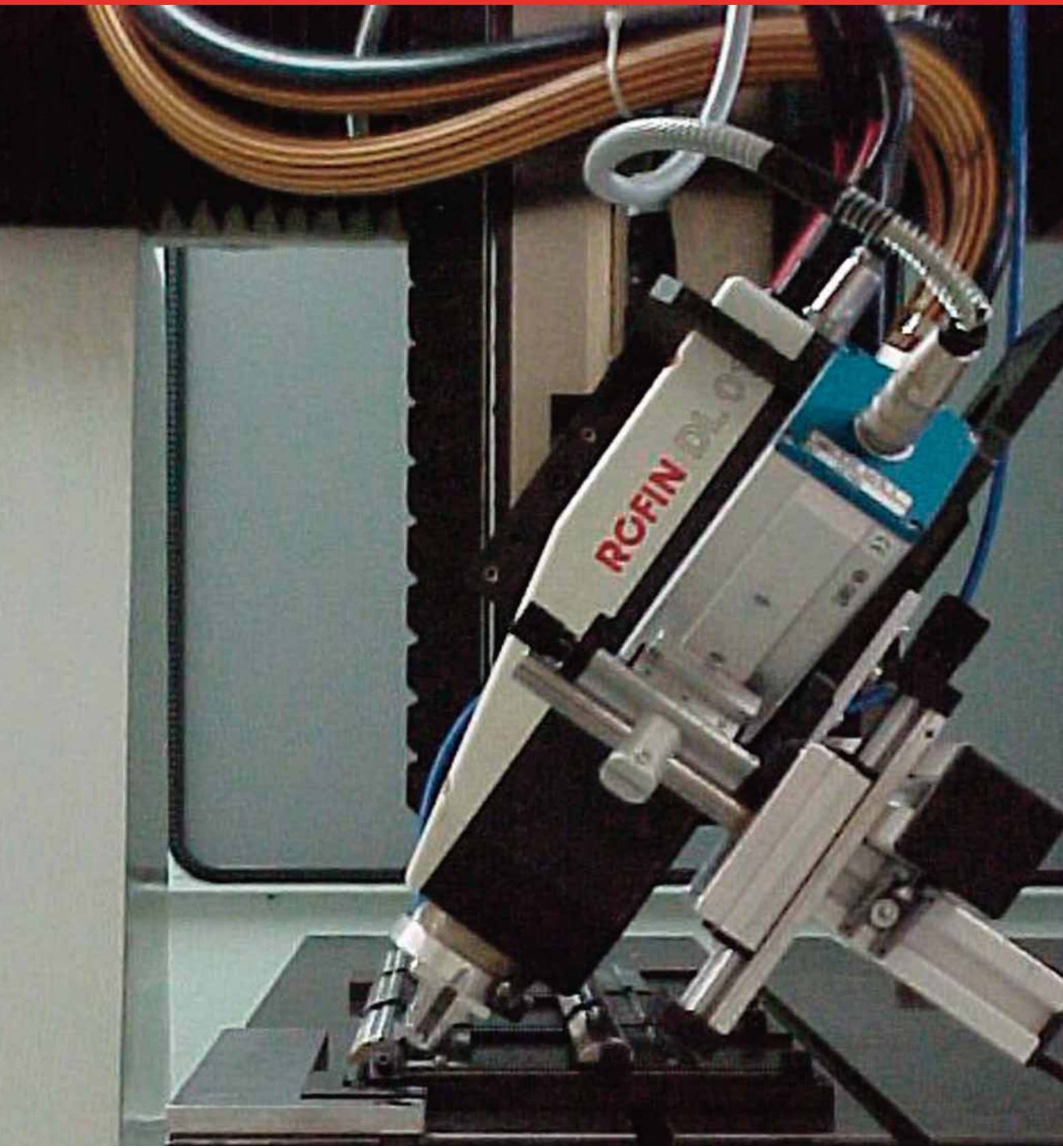
Laserintegration in Werkzeugmaschinen heißt das Zauberwort, das zum Durchbruch der Lasertechnologie
schlechthin beigetragen hat. Es empfiehlt sich, hierfür einen Laserstrahl zu nehmen, der in einer Faser
geführt werden kann, gut fokussierbar ist, und der auch noch genügend Leistung hat.



4 Fünf-Achs-CNC-Fräszentrum mit DY 040 für die Komplettbearbeitung

Die Lösung hieß DY 044 – der neue diodengepumpte Festkörperlaser aus dem Hause Rofin-Sinar, der sich sogleich als unermüdliches Arbeitspferd für eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen des Auftragschweißens unentbehrlich machte: seit 1999 in einer 3-Achs- und einer modernen 5-Achs-Fräsmaschine, einer Anlage zum Thermischen Spritzen und schließlich in einer neuen Portalanlage, die mit einer Inertgaskammer zum Verarbeiten von Bauteilen aus Titan ausgestattet ist. In letzterer haben wir den größten Teil der Arbeiten zur Instandsetzung von Flugtriebwerken aus Titan und Nickellegierungen ausgeführt, von den ersten Grundlagen bis zur serienreifen Technologie.

Für die Entwicklung aller Systemtechnik-Komponenten für das Auftragschweißen - Koaxialpulverdüsen, Bearbeitungsköpfe, Software, Prozeßüberwachung - war der DY-Laser das richtige Werkzeug. Auch wenn diese Systeme heute kompatibel zu allen anderen Materialbearbeitungslasern sind, erfolgten ihr Design und ihre systematische Erprobung ausschließlich mit dem DY 044. Sie haben geholfen, daß viele der einst im Labor erarbeiteten Lösungen heute industrieller Alltag sind: Panzerungen an Teilen großer Gasturbinen zur Energieerzeugung, Hartmetallbeschichtungen für Bohr- und Schneidwerkzeuge, schnelle Designänderungen an den Karosseriewerkzeugen der Automobilbauer.



DIVERSE HÄRTEAPPLIKATIONEN FÜR HOCHLEISTUNGSDIODENLASER

Dr. Steffen Bonß

Durch die Verfügbarkeit von Hochleistungsdiodenlasern und einer Reihe von systemtechnischen Entwicklungen der letzten Jahre hat sich das Laserstrahlhärten als Verfahren zum Härten lokal beanspruchter Bauteile als Ergänzung zu klassischen Härteverfahren etabliert. Besonders der Formen- und Werkzeugbau aber auch die Automobilindustrie setzt zunehmend häufiger dieses Verfahren ein. Nicht ohne Stolz kann das Fraunhofer IWS auf einen wesentlichen Beitrag an dieser Entwicklung verweisen.

Das Härten zur Erhöhung des Verschleißwiderstandes oder der Festigkeit ist ein Standardverfahren für Maschinen- oder Fahrzeugbauteile aus Stahl oder Gußeisen. Konventionell werden die Bauteile allumfassend in Öfen und Vakuum- oder Plasmaanlagen gehärtet. Dabei wird die gesamte Oberfläche bzw. das gesamte Bauteil der Behandlung unterzogen. Das funktioniert selbst bei komplizierten Geometrien sehr effektiv, wenn eine große Charge von Bauteilen gleichzeitig behandelt werden kann. Ist eine allumfassende Härtung nicht gewünscht oder sind Chargenprozesse wegen der Unterbrechung des Produktionsflusses ineffektiv, wird lokales Härten mit Flamme, Induktion und, seit neuester Zeit, mit dem Laser bevorzugt. Diese Verfahren arbeiten seriell und sind daher für die Integration in Fertigungslinien gut geeignet.

Die Integration des Härteprozesses direkt in Werkzeugmaschinen wird beim Flamm- und Induktionshärten durch die Verwendung spezieller Abschreckflüssigkeiten für das Härten erschwert. Das Laserstrahlhärten kann in der Regel auf flüssige Abschreckmedien verzichten. Es ist somit bestens für die Integration direkt in die Werkzeugmaschine geeignet. Druckluft oder Schutzgas, welches zur Unterstützung der Abschreckung bei sehr kleinen Bauteilen oder zur Vermeidung jeglicher Oxidation notwendig ist, können ohne größere Probleme an das Bauteil gebracht werden.

1 *Laserstrahlhärten von Platinen für Rundstrickmaschinen, Rofin DL 015 im Einsatz mit Regelung »LompocPro« und Pyrometer, Fa. Liebers, Gaimersheim*



2 Prozess (a) und Fertigungszelle (b) zum Laserstrahlhärten von Turboladerwellen, Rofin DL 020 im Einsatz mit Regelung »LompocPro« und Pyrometer, BorgWarner Turbo Systems GmbH, Kirchheimbolanden

Betrachtet man nur die Investitionskosten erscheinen Laserprozesse oft sehr teuer im Vergleich zu konventionellen Prozessen. Schaut man sich jedoch die gesamte Fertigungsprozesskette an, ändert sich zuweilen das Ergebnis. Durch das Laserstrahlhärten können häufig Möglichkeiten zur Verkürzung der Prozesskette erschlossen werden. Bauteilhandling und Logistik reduziert sich, wenn der Vorteil der Integration in die Werkzeugmaschine genutzt werden kann. Die meist geringen Verzüge nach dem Laserstrahlhärten bedingen in der Regel weniger Nachbearbeitungsprozesse.

Eine der ersten industriellen Anwendungen eines Hochleistungsdiodenlasers zum Randschichthärten von Stahl war das Härten von Steuer- und Fadenführungsplatinen für Rundstrickmaschinen bei der Firma Liebers in Gaimersheim. Der Prozess wird in Stickstoffatmosphäre durchgeführt, um die Oxidation der Bauteile zu vermeiden. Mit einem Pyrometer wird die Bauteiloberflächentemperatur erfasst und durch das im Fraunhofer IWS entwickelte Laserleistungsregelsystem »LompocPro« während des Prozesses konstant gehalten (Abb. 1). Zur Gasabschirmung wird eine an der Laseroptik befestigte Taylor-Düse verwendet. Damals kam ein direkt strahlender Hochleistungsdiodenlaser Rofin DL 015 mit maximal 1,5 kW Leistung zum Einsatz.

Im Fahrzeugbau fand das Härten mit Hochleistungsdiodenlasern eine erste Anwendung zum Härten von Türfedern für die VW-Gruppe. Gleich drei Anlagen von direkt strahlenden Hochleistungsdiodenlasern werden bis heute zum Härten von Turboladerwellen für Nutzfahrzeuge eingesetzt. Die rotationssymmetrische Härtung der Wellen wird durch schnelles Drehen mit etwa 8300 U / min erreicht. Dadurch wird eine ringförmige Erwärmungszone auf den Wellen erzeugt. Während des Prozesses wird sie längs der Wellenachse verschoben, um die angestrebte Breite der Härtezonen zu erreichen (Abb. 2a). Auch hier wird die Oberflächentemperatur mit einem Pyrometer ermittelt und dem Regler »LompocPro« übergeben. Die drei Anlagen bei der BorgWarner Turbo Systems GmbH in Kirchheimbolanden werden dreischichtig eingesetzt. Zwei von Ihnen arbeiten innerhalb einer Roboterzelle (Abb. 2b).



3 Portalanlage zum Laserstrahlhärten von Karosserie-
werkzeugen (a), Rofin DL 035Q im Einsatz mit dyna-
mischer Strahlformung »LASSY«, kamerabasierter
Temperaturerfassung »E-MAqS« und Regelung »Lom-
pocPro« zum Laserstrahlhärten von Press- und Schneid-
werkzeugen (b)

Die populärste Anwendung von Hochleistungsdiodenlasern zum Randschichthärten ist das Härten im Groß-
werkzeugbau. Zahlreiche Lohndienstleister setzen dieses Verfahren ebenso ein wie die Werkzeugbauabtei-
lungen der Automobilhersteller.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes »Integrierte Härterei« wurde 2007 bei der BMW Fahrzeug-
technik GmbH in Eisenach eine Portalanlage mit einem direkt strahlenden Hochleistungsdiodenlaser Rofin
DL 035Q als Demonstrator installiert (Abb. 3a). Hier wurden erstmalig ein kamerabasiertes Temperatur-
erfassungssystem sowie eine dynamische Strahlformung mit einem Scannerspiegel eingesetzt. Im Anschluß
an das Projekt wurde die Anlage für die Produktion optimiert und ist seit dem im Einsatz.

Aus dem ersten kamerabasierten Temperaturerfassungssystem sowie der dynamischen Strahlformung
entwickelten sich später am Fraunhofer IWS die Produkte »E-MAqS« und »LASSY«, die in der Folge
mehrfach ihren Weg in die industrielle Fertigung fanden.



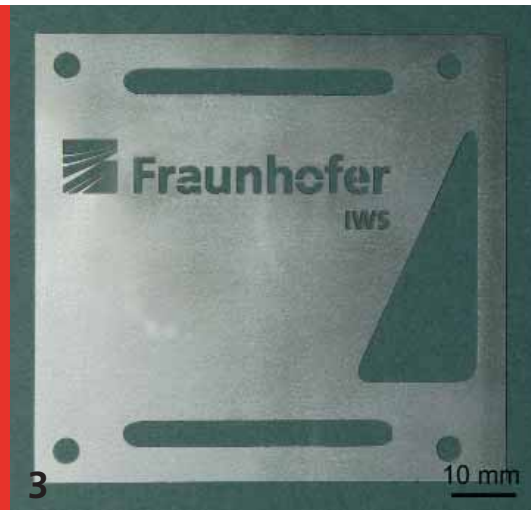
REMOTESCHNEIDEN MIT DEM FL 010

Matthias Lütke

Mit seiner exzellenten Strahlqualität von $< 0,4 \text{ mm} \times \text{mrad}$ eröffnet der FL 010 völlig neuartige Anwendungsfelder in der Lasermaterialbearbeitung. Bei nahezu gaussförmigem Strahlprofil lassen sich Fokusradien von wenigen Mikrometern auch bei langen Fokussierbrennweiten realisieren. In Kombination mit verfügbaren Laserausgangsleistungen im kW-Bereich sind Intensitäten größer $100 \text{ MW} / \text{cm}^2$ erreichbar. Sie bilden die Grundlage für das am Fraunhofer IWS in Dresden entwickelte Bearbeitungsverfahren des Remote-Schneidens metallischer Werkstoffe – *remocut^{®M}*.

Durch den gezielten Verzicht auf ein Prozessgas zum Austrieb der entstehenden Schmelze ist eine Schneidgasdüse nicht länger erforderlich. In Verbindung mit der exzellenten Strahlqualität des FL 010 lassen sich somit Arbeitsabstände umsetzen, welche deutlich größer als beim herkömmlichen Schneiden mit Gasunterstützung sind. Eine Bearbeitung des Werkstückes aus der Ferne ist möglich; eine Remote-Bearbeitung entsteht. Weiterhin erlaubt der Verzicht auf die Schneidgasdüse eine flexible und hochdynamische Manipulation des Laserstrahls durch reflektierende Elemente.

Grundlage des *remocut^{®M}* - Verfahrens stellt die Nutzung eines Abtragsprozesses der metallischen Werkstoffe dar. Im Gegensatz zum konventionellen, gasunterstützten Schneiden wird der Laserstrahl nicht nur zum Schmelzen, sondern sogar zum partiellen Verdampfen des Materials der Schnittfuge genutzt. Die exzellente Strahlqualität des FL 010 ermöglicht Fokusradien kleiner $30 \text{ } \mu\text{m}$ auch bei Arbeitsabständen größer als 200 mm . Die hochdynamische Ablenkung des Laserstrahls durch Scannerspiegel in Verknüpfung mit den bekannten Vorteilen der Remote-Technologie ermöglicht Konturgeschwindigkeiten am Werkstück, die deutlich höher sind als diejenigen, die derzeit durch konventionelle Laserschneidanlagen erreicht werden.

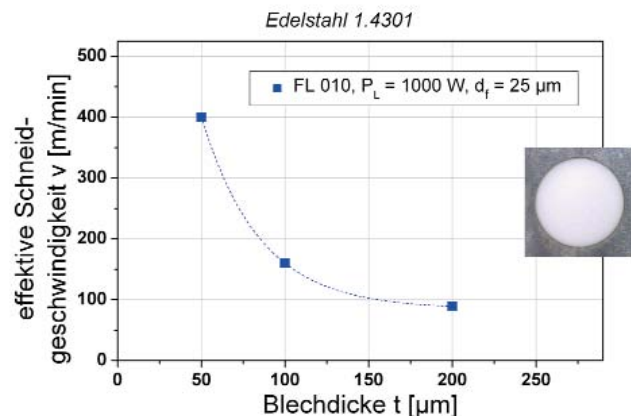


1 Prozessbild remocut[®]M
2/3 Mit dem remocut[®]M – Verfahren erzeugte
Schneidbeispiele

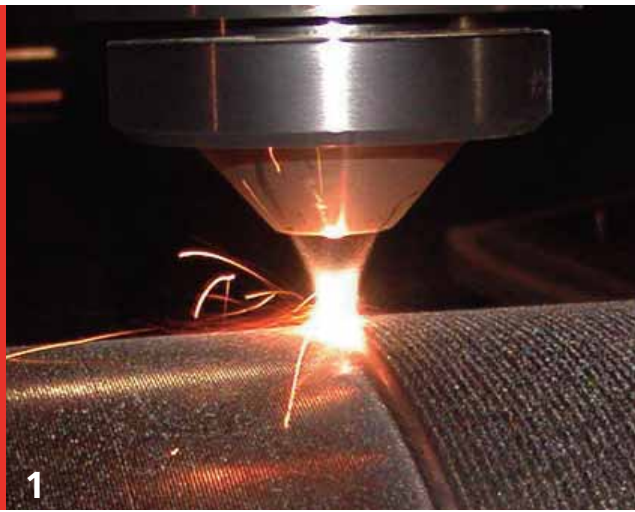
Dies wird vor allem bei Materialdicken kleiner 0,5 mm deutlich. Die Ursache dafür konnte anhand am Fraunhofer IWS in Dresden durchgeführter Prozessuntersuchungen aufgezeigt werden.

Bei Fokusradien von 30 μm und 1000 W Laserleistung lassen sich am Werkstück Abtragstiefen von ca. 30 μm in einem einzelnen Abtragsschritt erzielen. Zum Durchtrennen höherer Materialdicken ist es deshalb notwendig, den Abtragsprozess zu wiederholen. Durch erneutes Abscannen der im ersten Schritt entstandenen Abtragsfuge entsteht so, Schritt für Schritt, ein Schnittspalt. Die zu trennende Materialdicke definiert demzufolge die Anzahl der notwendigen Scanwiederholungen. Je dicker das Material, desto höher die Anzahl der notwendigen Abtragsschritte. Damit erhöht sich die Prozesszeit wohingegen die resultierende Schneidgeschwindigkeit, definiert als Quotient aus Schnittlänge und Prozesszeit, sinkt (Abb. 4).

4 effektive Schneidgeschwindigkeit auf einer Kreis-
kontur in Abhängigkeit von der Materialdicke



Unter Nutzung des FL 010 lassen sich mit dem remocut[®]M – Verfahren Schneidgeschwindigkeiten von 400 m / min auf der Kontur erzielen. Schnell und flexibel werden verschiedenste Geometrien und Formen erzeugt (Abb. 2, 3). Das bearbeitbare Materialspektrum ist weit gefächert. Im Vergleich zum Stanzen sind die Vorteile des Laserschneidens in der Einsparung der Kosten für den Werkzeugbau und das Nachschleifen der Stanzwerkzeuge sowie in dem geringeren Geräuschpegel im Fertigungsbereich zu sehen.



ROFIN-LASER IN DEN USA

Stephan Nägeler, Laser Welding Solutions

Herr Dr. Wirth ist ohne jeden Zweifel eine der herausragendsten Persönlichkeiten der internationalen Lasergemeinschaft. Seine Visionen haben Einfluss auf die gesamte Bandbreite der modernen Hochleistungs-Lasertechnik, von Slab-CO₂-Lasern bis hin zu den diodengepumpten Faserlasern. Aus der Sicht eines heutigen Anwenders war besonders das frühzeitige Erkennen des Potenzials der Diodentechnik, einerseits als Pumpquellen aber auch für Direktapplikationen, eine der bemerkenswertesten Leistungen. Die damals im Hause Roфин getroffenen Entscheidungen für diese Technologie haben einen wichtigen Weg in das moderne Laserzeitalter aufgezeigt und das Anwendungsspektrum um eine Vielzahl von Applikationen erweitert.

Persönlich bin ich Herrn Dr. Wirth zu außerordentlichem Dank verpflichtet, da er seinerzeit das von Prof. Beyer ins Leben gerufene Konzept der Industriellen Projektgruppe des IWS im Hause Roфин in Plymouth, Michigan wesentlich unterstützt hat. Ziel unserer Gruppe war es, neue IWS-Technologien an Roфин Kunden in die USA zu transferieren und gleichzeitig Entwicklungsimpulse und -bedürfnisse des amerikanischen Marktes festzustellen.

Dieses Vorhaben erforderte die komplette Integration unserer kleinen Mannschaft in die Roфин internen Arbeitsabläufe und das soziale Gefüge der Firma und wäre sicherlich ohne die kontinuierliche Fürsprache von Herrn Dr. Wirth nicht so reibungslos verlaufen.

Besonders beeindruckt hat mich während dieser Zeit vor allem der grosse Respekt, der Herrn Dr. Wirth und seinem Führungsstil innerhalb der Roфин Familie entgegengebracht wurde. In den USA, wo deutsche Manager gerne schnell als wenig flexibel und als etwas distanziert kategorisiert werden, identifizierten sich die Roфин Mitarbeiter auch menschlich sehr stark mit „Peter“ aus Hamburg und vertrauten seinen Entscheidungen voll.



- 1 *Auftragsschweißprozess mit Diodenlaser*
- 2 *Innen-Hartstoffbeschichtung an 4 u. 6 Zoll Lagern mit Laser*
- 3 *Laserhartstoffbeschichtung von Ölbohrwerkzeugen*

Diesen großen Zuspruch hatte sich Herr Dr. Wirth während seiner Zeit vor Ort in den USA erarbeitet und noch heute kursieren hier viele liebevolle Anekdoten über hart umkämpfte Tennis Matches und entspannte Bowling-Abende.

Fachlich kann ich noch heute von den seitherzeit gemachten Erfahrungen im Bereich Laser-Auftragsschweißen mit Diodenlasern profitieren. Gemeinsam mit Rofin starteten wir unser erstes großes Projekt zu diesem Thema im Jahre 2000 für einen Kunden aus der Ölbohrindustrie. Ein Jahr später lieferten wir die erste Auftragsschweißanlage mit einem 3 kW Rofin Diodenlaser nach Houston, Texas aus. Trotz anfänglicher Schwierigkeiten mit den Dioden hat sich diese Technologie heute konkurrenzlos durchgesetzt. Neben der vergleichsweise hohen Effizienz dieses Lasertyps sind vor allem die Bedien- und Integrationsfreundlichkeit dafür verantwortlich, dass das Beschichten von Ölbohrwerkzeugen heute nicht nur in Nord-Amerika und Europa sondern auch in Ländern wie China und Indien erfolgreich eingesetzt wird.

Es freut mich zu hören, dass Herr Dr. Wirth nach seiner Entscheidung in Rente zu gehen noch eine gewisse Zeit im RSTI-Verwaltungsrat tätig sein wird. Ich wünsche ihm weiterhin alles Gute, Gesundheit und dass er der Lasertechnik noch eine lange Zeit verbunden sein wird.

Impressum

Redaktion / Gestaltung:

Dr. Anja Techel
Dipl. Inf. (BA) Henry Teuber

Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff-
und Strahltechnik IWS Dresden
Winterbergstr. 28

01277 Dresden

Tel.: (0351) 83391-0
Fax: (0351) 83391-3300
E-mail: info@iws.fraunhofer.de
<http://www.iws.fraunhofer.de>

© Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden 2010
Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.