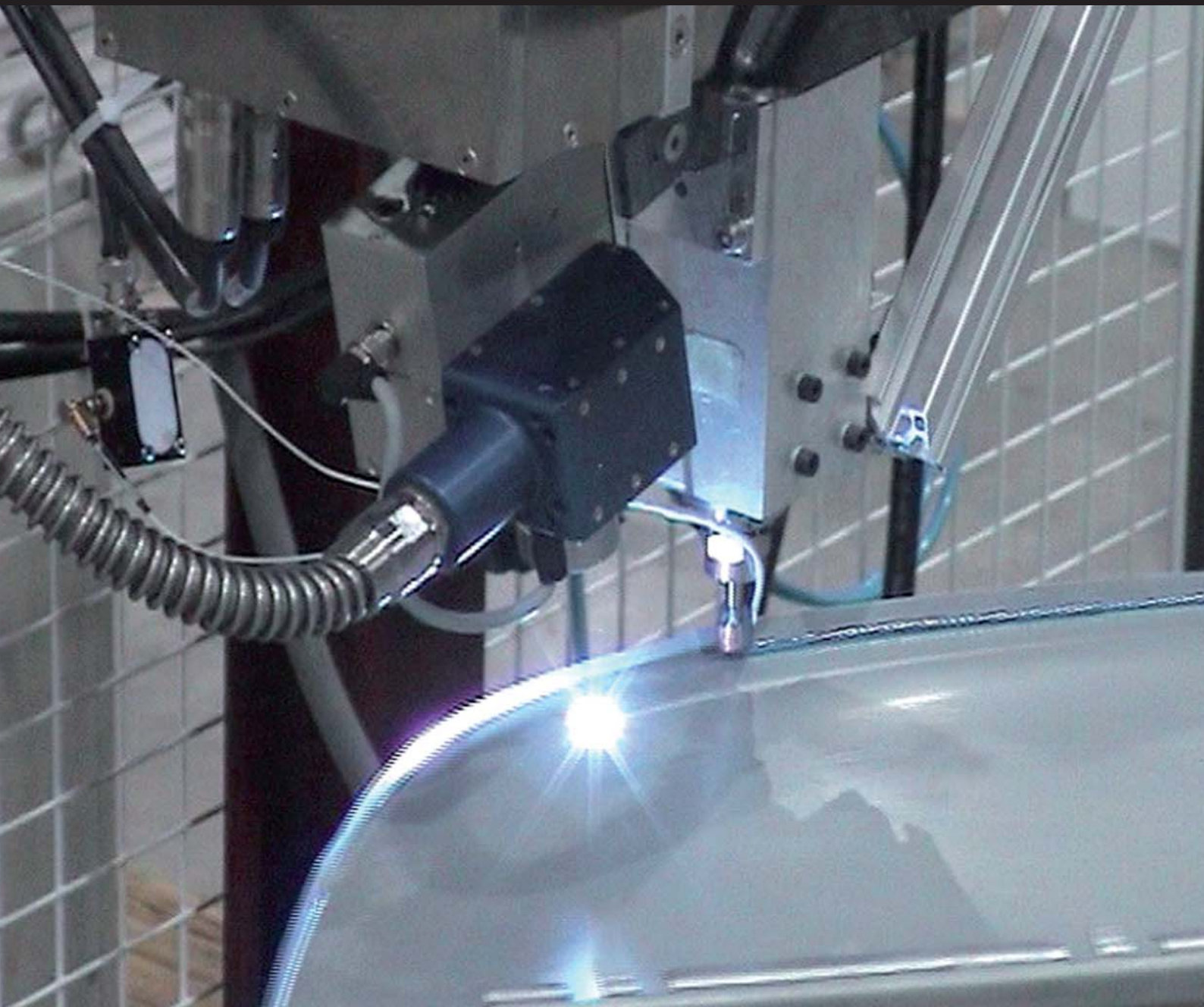


TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
INSTITUT FÜR FÜGE- UND SCHWEISSTECHNIK

report ifs

AUSGABE 1. HJ 2006



HIGHLIGHTS Integration in industrielle Serienfertigung – Laservorbehandlung zum Kleben
Vollmechanisiertes Metall-Inertgasschweißen von Magnesium
Pick 'n' Stick – Automatisiertes Fügen klebstoffbeschichteter Bauteile



> GRUSSWORTE ZUM NEUEN *ifs*-REPORT

Von Politikern, Hochschulpräsidenten und anderen, die es wissen müssen, wird eine größtmögliche Nähe von Wissenschaft und Wirtschaft gefordert. Dies soll unter anderem dazu dienen, dass an den Hochschulen mit Praxisrelevanz geforscht wird und die Industrie die Erkenntnisse aus der Forschung schnell in Produkte umsetzen kann. Für unser Institut war die Industrienähe und Praxisrelevanz schon immer selbstverständlich. In vielen Drittmittelprojekten öffentlicher und privatwirtschaftlicher Natur arbeiten wir direkt mit den relevanten Industrieunternehmen nicht nur in Deutschland zusammen. Aber natürlich kann alles noch optimiert werden. Aus diesem Grund haben wir uns – dem Beispiel anderer erfolgreicher Institutionen folgend – entschieden, halbjährlich die Neuigkeiten aus unserem Institut im Rahmen des *ifs*-Reports unseren Ehemaligen, Freunden und Gönnern zukommen zu lassen. Hier sollen natürlich die aktuellen Forschungsergebnisse dargestellt werden, aber auch anderes Interessantes und Persönliches, um Ihnen immer ein zeitnahes Bild unseres Institutes zu zeigen. Ich hoffe, Sie haben so viel Freude am Lesen, wie wir beim Forschen und Schreiben gehabt haben und freue mich auf Ihre Anregungen.

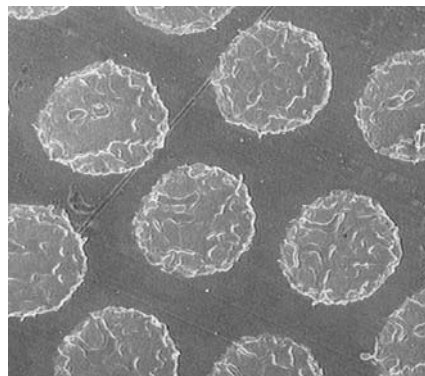
Jochen Klaus Delys

> INTEGRATION IN EINE INDUSTRIELLE SERIENFERTIGUNG: **LASERVORBEHANDLUNG ZUM KLEBEN**

Die auch in der Fügetechnik gestiegenen Anforderungen an Wirtschaftlichkeit, Ökologie und Design erfordern den Einsatz und das Verbinden unterschiedlicher Materialien. Hierbei ergänzt oder ersetzt das Kleben etablierte Fügeverfahren wie Schrauben, Schweißen oder Clinchen.

In einigen Fällen ist es nötig, die Fügeflächen vorzubehandeln, um eine reproduzierbare Klebverbindung herstellen zu können. In den letzten Jahren wurden große Anstrengungen unternommen, um eine ehemals großflächige, teils undefinierte Vorbehandlung durch eine lokale, nur die tatsächliche Funktionsfläche betreffende Bearbeitung zu ersetzen.

Für Aluminiumlegierungen werden in der Regel chromatbasierte Vorbehandlungen eingesetzt, die international bis zum Jahr 2007 vollständig verboten werden. Aus der Motivation heraus, die Vorbehandlung chromatfrei, trocken und nahezu staubfrei sowie in den Prozessschritt Klebstoffauftrag integriert zu ermöglichen, wurden im Rahmen des durch das BMBF geförderten Projektes INTLASKLEB (Integration einer Laservorbehandlung in eine klebtechnische Serienfertigung) Lösungen erarbeitet.



Oberfläche von Aluminium Al 6040 nach der Bearbeitung mit verschiedenen Laserparametern;
links: geringe Leistungsdichte der einzelnen Laserpulse, keine Überlappung,
rechts: hohe Leistungsdichte der einzelnen Laserpulse, starke Überlappung

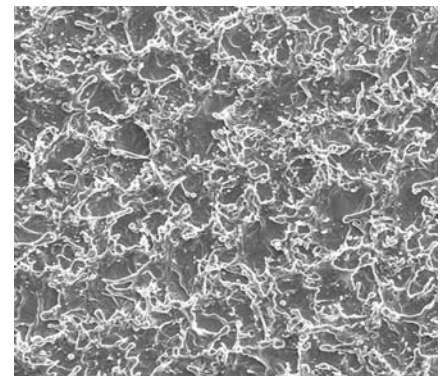
Vorbehandlung von Aluminiumlegierungen mit Nd:YAG-Laserstrahlung

Innerhalb des Projektes wurden sechs unterschiedliche Werkstoffe, darunter drei Aluminiumlegierungen, mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser und einem eigens entwickelten

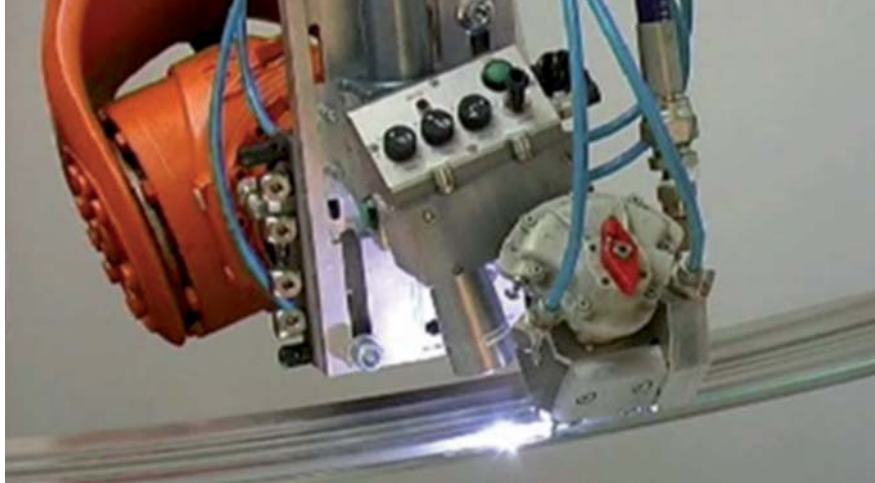
Scankopf mit verschiedenen Laserparametern vorbehandelt. Die einzelnen Laserparameter wurden auf ihre Beeinflussung der Oberfläche und die klebtechnische Wirksamkeit hin untersucht. Dabei war ihre chemische Zusammensetzung und die damit verbundene Klebbarkeit entscheidend.

Neben der Laservorbehandlung unter Normalatmosphäre wurden zusätzliche Prozessgase wie reiner Sauerstoff oder Stickstoff eingesetzt, um während des Laserprozesses die Prozesszone ggf. vor Atmosphäre zu schützen und um die gebildete Oberfläche zusätzlich zu modifizieren.

Im Projektverlauf hat sich die Laservorbehandlung als wirksame Methode für Aluminiumlegierungen erwiesen. Entscheidend für die Alterungsbeständigkeit der Verklebung ist der vollständige Abtrag der natürlichen Oxidschicht durch den Laser und eine gleichmäßige, neu generierte Substratoberfläche. Die Oberflächenvergrößerung durch die Laservorbehandlung ist für die mechanische Verankerung des Klebstoffes positiv, jedoch spielt die neu generierte Oberflächenzusammensetzung eine deutlich wichtigere Rolle.



Versuche für die Volkswagen AG und die Audi AG haben die Projektergebnisse bestätigt und werden auch über das offizielle Ende der Förderung hinaus weitergeführt.



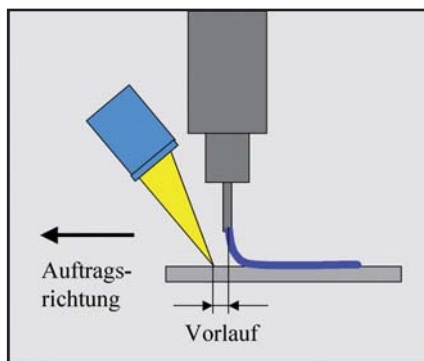
Integrierter Laservorbehandlungs-/Klebstoffauftragskopf; Musterarbeitsplatz LKT GmbH, Aachen

Integration der Laservorbehandlung in eine industrielle Serienfertigung

Ein weiteres Ziel des Projektes war die Entwicklung eines integrierten Laservorbehandlungs-/ Klebstoffauftragskopfes, um nicht nur einen Arbeitsschritt in einer späteren Produktion einzusparen (z. B. die manuelle mechanische Oberflächenvorbehandlung bei metallischen Werkstoffen), sondern um auch die Sicherheit und Stabilität des Fertigungsschrittes deutlich zu erhöhen. Vor allem vor dem Hintergrund, dass beim Einsatz der Klebtechnik noch große Unsicherheiten bezüglich der Oberflächenvorbehandlung der Fügebauteile sowie der Klebstoffverarbeitung und -aushärtung bestehen, kann ein stabiles Fertigungsverfahren deutlich die Akzeptanz der Klebtechnik in der industriellen Produktion erhöhen und zu einer weiteren Verbreitung der Klebtechnik beitragen. Die erarbeiteten Konzepte wurden in Form von Musterarbeitsplätzen umgesetzt und durch die Etablierung eines Industrie-Arbeitskreises öffentlich zugänglich gemacht. Nähere Informationen dazu (z. B. aktuelle Termine) sowie die vollständigen Ergebnisse des Projektes sind unter www.intlaskleb.de erhältlich.

Danksagung

Der vorliegende Artikel stellt in Auszügen die Ergebnisse des Projektes „Integration



Integrierter Laservorbehandlungs-/Klebstoffauftragskopf; Schematische Zeichnung

eines Laservorbehandlungssystems in eine klebtechnische Serienfertigung – INTLAS-KLEB“ dar, das durch den Projektträger PFT, Karlsruhe, innerhalb des „Forschung für die Produktion von Morgen“ - Programms begleitet und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert wurde. Die Autoren bedanken sich für die gute Zusammenarbeit zwischen den Konsortialpartnern und der Projektleitung, vertreten durch Frau Schwab und Herrn Wagner.

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm
s.boehm@tu-bs.de

Dipl.-Chem. Elisabeth Stammen
e.stammen@tu-bs.de

> GEWICHTSREDUKTION BEI BEWEGTEN BAUTEILEN VOLLMECHANISIERTES METALL-INERTGASSCHWEISSEN VON MAGNESIUMLEGIERUNGEN

Bei bewegten Bauteilen tritt die Forderung nach Gewichtsreduzierung immer mehr in den Vordergrund. Dies gilt ganz besonders für die Automobilindustrie, die durch Gewichtsminimierung der Fahrzeuge den Kraftstoffverbrauch senken will. Unter diesem Gesichtspunkt wurde in den vergangenen Jahren häufig der Schritt von Stahlwerkstoffen

hin zu Aluminiumlegierungen vollzogen. Im Vergleich dazu eröffnet der Einsatz leichter Magnesiumlegierungen weitere Perspektiven zur Gewichtsreduktion. Die Voraussetzung hierfür ist die Bereitstellung geeigneter Fügeverfahren für Magnesiumlegierungen, die universell einsetzbar und dabei weitgehend automatisierbar sind.

Für den Einsatz von Schweißrobotern stellt hierbei besonders die Beherrschung von Zwangslagen eine Schlüsselqualifikation dar. Die Anwendbarkeit hochwertiger, produktiver Schweißverfahren bei Magnesiumlegierungen wurde in den letzten Jahren mehrfach nachgewiesen. Dabei konnte das MIG-Verfahren so weiterentwickelt werden, dass es den speziellen Erfordernissen von Magnesiumwerkstoffen genügt.

Beherrschbarkeit von Zwangslagenschweißungen

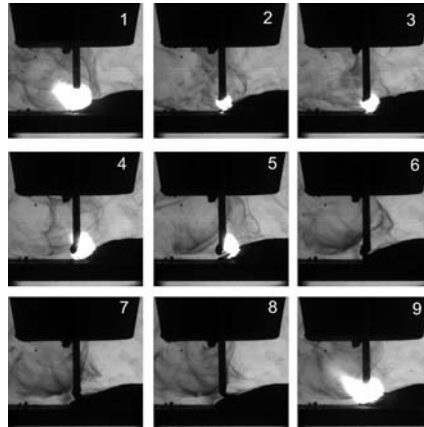
Mit der Verfügbarkeit des mechanisierten MIG-Schweißens auch für Zwangspositionen bei Bauteilen aus Magnesiumlegierungen ergäben sich weite Einsatzgebiete dieses Leichtbauwerkstoffs. Dabei ist im Hinblick darauf, dass die Automobilkonzerne planen, in den kommenden Fahrzeuggenerationen verstärkt Magnesium zum Teil in Space-Frame-Konstruktionen einzusetzen, die Schwingfestigkeit von entscheidender Bedeutung. Ein Hauptziel der Forschungsarbeiten lag deshalb darin zu prüfen, ob neben der sicheren Beherrschung des Schweißprozesses das Parameterfeld dahingehend erweitert werden kann, dass die entstehende Gestalt der Schweißnähte gleichzeitig auch noch eine gute Schwingfestigkeit fördert. Damit wäre auf mittlere Sicht die Möglichkeit Aluminiumbauteile durch Magnesiumbauteile zu substituieren gegeben.

Durchgeführte Untersuchungen

Im Laufe des Forschungsvorhabens wurden die Möglichkeiten des mechanisierten MIG-Schweißens von Magnesiumlegierungen im getriggerten Kurzlichtbogen untersucht. Es wurden Untersuchungen an 2,7 mm dicken Strangpressprofilen aus AZ31 bei systematischer Variation der Schweißpositionen durchgeführt. Als Zusatzwerkstoff kam die Legierung AZ61 mit 1,2 mm Drahtdurchmesser zum Einsatz. Es wurden Grundlagerversuche an I-Stoß- und Kehlnahtverbindungen durchgeführt. Die Übertragbarkeit auf Bauteile erfolgte anhand von mechanisierten Schweißungen an einer Space-Frame-Konstruktion, die die Einsetzbarkeit des MIG-Schweißens von Magnesiumlegierungen und insbesondere des getriggerten Kurzlichtbogens in der Fertigung komplexer Bauteile demonstrierte. Die Qualität der erzeugten Schweißverbindungen wurde mittels metallographischer Schläffe festgehalten. MIG-Schweißen von Magnesiumlegierungen ist grundsätzlich sowohl an Strangpressprofilen als auch an Druckguss-

teilen möglich. Hierbei ist jeweils auf eine sehr gezielte Energieeinbringung in den Schweißzusatzwerkstoff zu achten, um Spritzerbildung zu vermeiden. Die Kanten- vorbereitung muss sehr sorgfältig erfolgen und während des Schweißprozesses ist eine starre Einspannung der Schweißteile zu gewährleisten. Bei I-Stoß und Kehlnaht- verbindungen gelingt eine Beherrschung der Zwangslagen. Insbesondere eine steigende Position erzielt hierbei reproduzierbare Ergebnisse. Bei dem Knoten der Space-Frame- Konstruktion aus Strangpressprofilen und Druckgussbauteilen wurde mit einem Schweißparametersatz sowohl eine steigende als auch eine horizontal-vertikale Schweißung spritzerarm in einem Arbeitsgang hergestellt. Die statischen Festigkeitswerte der Schweißverbindungen liegen in der Nähe der Grundwerkstoffwerte. Bei Schwingbean- spruchungen müssen mögliche Kerbstellen vermieden werden. Bei in steigender Position geschweißten I-Stoßverbindungen sind trotz vorhandener Nahtüberhöhung bis zu 70 % der Schwingfestigkeit des Grundwerkstoffs erreichbar.

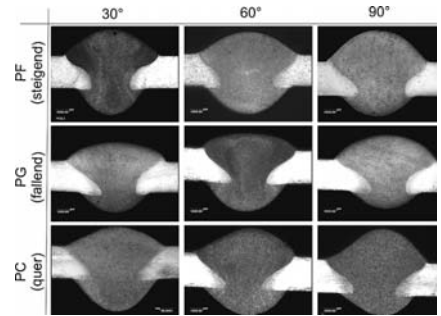
Die mechanisierte Ausführung der Schweißungen am Roboter bietet für die Zukunft neue Einsatzgebiete für den Werkstoff Magnesium, sowohl im Automobil- als auch im Schienenfahrzeugbau.



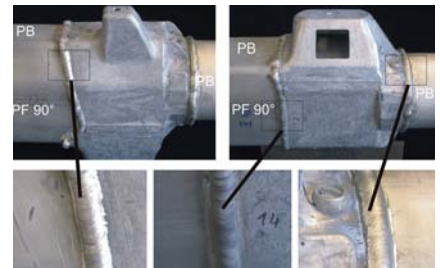
Hochgeschwindigkeitsaufnahmen des getriggerten Kurzlichtbogens

Danksagung

Die Untersuchungen - „Mechanisertes Metall- Inertgasschweißen von Magnesium- legierungen“ (AiF-Nummer 13.143 N; Laufzeit 1. März 2002 bis 31. Dezember 2004) - wurden aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert und von der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS unterstützt. Für diese Förderung und Unterstützung sei gedankt.



Schliffe der I-Stoßverbindungen in Zwangslagen ohne Badstütze



Schweißnähte Magnesium Space-Frame-Knoten (Praxisbauteil)

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Martin Vogt

martin.vogt@tu-bs.de

Dr.-Ing. Thomas Nitschke-Pagel

t.pagel@tu-bs.de

> PICK 'N' STICK

AUTOMATISIERTES FÜGEN KLEBSTOFFBESCHICHTETER BAUTEILE

In diesem Beitrag werden die aktuellen Ergebnisse des Teilprojekts B8 des SFB 516 „Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme“ vorgestellt. Ziel dieses Projektes ist es, neuartige Verbindungstechniken auf Basis von nicht-viskosen trockenen Klebstoffsystemen (Schmelzklebstoffe) für Mikrosysteme zu entwickeln. Dabei wird vor allem auf die Automatisierbarkeit und Anwendbarkeit in einem Batchprozess geachtet. Die bisher im Mikrobereich eingesetzten viskosen Klebstoffsysteme haben den Nachteil des langsamen Aushärtens und Abbindens ($>> 1s$), welcher mit fehlenden Anfangsfestigkeiten, einer erhöhten Haltedauer der Bauteile und einem möglichen Verkippen der Bauteile nach dem Fügeprozess verbunden ist. Außerdem ist nach dem bisherigen Stand der Dosier- technik viskoser Klebstoffe kein reprodu-

zierbares Dispensieren im Subnanoliter-Bereich möglich und die zu dosierenden Minimal- volumina zu groß, um das Fügen kleinster Bauteilgeometrien ($<< 200 \mu m$) zu gewährleisten. Nicht-viskose Klebstoffsysteme bieten im Gegensatz dazu die Möglichkeit der Vorbeschichtung, um somit kleinste Klebstoffgeometrien ($< 150 \mu m$) auf das Bauteil aufzubringen. Dieses Verfahren bietet weiterhin den Vorteil, dass kein zeitnahes Fügen der vorbeschichteten Bauteile nötig ist. Dadurch kann das automatisierte Verkleben zweistufig, zeitlich und örtlich entkoppelt, gestaltet werden.

Klebstoffvorapplikation

In einem ersten Schritt wird der Schmelz- klebstoff auf einen oder beide Fügepartner vorbeschichtet. Hierzu wird der Klebstoff zunächst in Form von Kugeln, konturierten

Folienstücken oder Pulverform aufgebracht (Abb. 1). Dabei werden Klebstoffkugeln mit einem Dosiervolumen im μl -Bereich bzw. Folienstücke mit einer Dicke von $> 50 \mu m$ verwendet. Anschließend erfolgt das Aufschmelzen und Anintern des Klebstoffes. Die Wärmezufuhr kann dabei direkt oder indirekt, flächig oder lokal punktuell erfolgen. Die lokal punktuell Einkopplung der thermischen Energie in das Fügeteil bzw. den applizierten Klebstoff wird mittels eines Lasers durchgeführt. Dieser kann auch bei einer Prozessautomatisierung über faseroptische Leitungen sehr nahe an den Prozess herangebracht werden. Durch Variation der Laserwellenlänge wird bestimmt, ob eine direkte oder indirekte Erwärmung des Klebstoffes stattfindet. Das flächige Einbringen der Wärme zum Anschmelzen des Klebstoffes ist nur auf indirektem Weg möglich. In diesem

Projekt werden hierfür eine Heizplatte und/oder ein IR-Strahler verwendet.



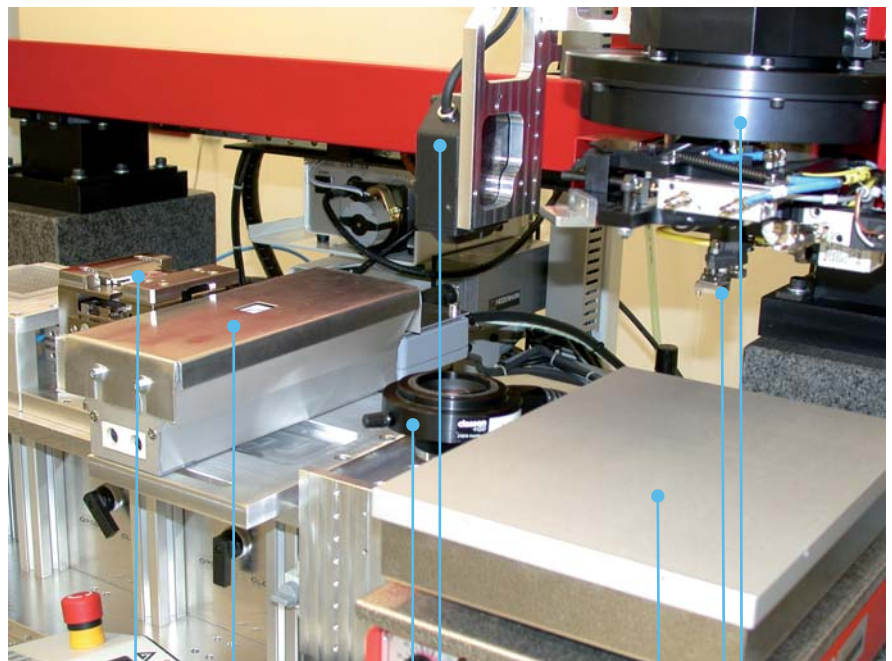
Abb.1 Unterschiedliche Schmelzklebstoffauftragsarten

Ansprechpartner:
 Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm
s.boehm@tu-bs.de
 Dipl.-Ing. Gregor Hemken
g.hemken@tu-bs.de

Fügen

Für das automatisierte Fügen steht in Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) ein kommerzieller Roboter der Firma Sysmelec (AUTOPLACE 411) zur Verfügung. Dieser mit einem Visionsystem ausgestattete Roboter erreicht eine Wiederholgenauigkeit von 1 µm. Für die Klebversuche wurde dieser Montageplatz um eine Heizplatte, einen IR-Strahler mit einer Leistung von 500 W, einer Kamera zur Erkennung von Merkmalen auf der Unterseite der Fügeteile, einem konfokalem Laserwegmesssensor und einem hochgenauen Aufspannplatz erweitert (Abb. 2). Mit diesem Aufbau kann eine Montagegenauigkeit von ± 10 µm erreicht werden.

Der Fügevorgang gliedert sich in bis zu fünf Teilschritte. Zunächst wird das Fügebauteil auf der Heizplatte über die Schmelztemperatur des Klebstoffes hinaus erwärmt. Anschließend wird das Bauteil sensorgestützt gegriffen. Nach dem Vermessen der Bauteilgeometrie auf der Unterseite erfolgt das Verkleben der Fügepartner. Je nach Wärmekapazität und benötigter Zeit für das Vermessen des Bauteils kann dieses vor dem Fügen über dem IR-Strahler nachgeheizt werden. Durch das Fügen auf dem kalten Fügepartner wird die im Bauteil bzw. im Schmelzklebstoff gespeicherte Wärme sehr schnell abgeführt, sodass die Handhabungsfestigkeit (in der Regel bereits die Endfestigkeit) unter 1 s erreicht wird.



Aufspannplatz IR-Strahler Heizplatte Roboter AUTOPLACE 411 (inkl. Kamera)
 Unterseitenkamera Laserwegmesssensor Vakuum-Greifsystem

Abb.2 Montageplatz

> GLÜCKWÜNSCHE

PROF. A.D. DR.-ING. HELMUT WOHLFAHRT

Am 01.01.2006 feierte Professor a.D. Dr.-Ing. Helmut Wohlfahrt seinen 70. Geburtstag.

Herr Wohlfahrt war in der Zeit von 1979 bis 1991 Professor für Werkstofftechnik mit dem Schwerpunkt Metallische Werkstoffe und Füge-technik an der Uni Kassel und von 1991 bis 2001 geschäftsführender

Direktor des Instituts für Schweißtechnik und Werkstofftechnologie – heute Institut für Füge- und Schweißtechnik – der Technischen Universität Braunschweig. In dieser Zeit hat sich Helmut Wohlfahrt eine international hohe Anerkennung auf dem Gebiet der werkstofforientierten Schweißtechnik erworben.

Die Mitarbeiter des ifs gratulieren nach-



träglich mit allen guten Wünschen für die Zukunft und einem Dank für den langjährigen Einsatz am Institut.

> ZUR LIEBEN ERINNERUNG



Prof. em. Dr.-Ing.
JÜRGEN RUGE

Eine der markantesten Persönlichkeiten der schweißtechnischen Forschung und Lehre ist am 7. Juli 2005 im Alter von 84 Jahren gestorben.

Prof. em. Dr.-Ing. Jürgen Ruge war von 1964 bis 1989 Leiter des Instituts für Schweißtechnik und Werkstofftechnologie des Fachbereichs Maschinenbau der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. Mit großem Engagement erreichte er den Ausbau und die Ausstattung des Instituts mit modernen Schweiß- und Prüfeinrichtungen, was in der schweißtechnischen Forschung beachtliche Erfolge ermöglichte. Durch sein Schaffen hat er an der TU Braunschweig den Schwerpunkt Schweißtechnik vorangetrieben und dem Lehrstuhl zu hohem Ansehen in der Welt verholfen, nicht zuletzt durch seine Entwicklungsarbeit auf schweißtechnischem Gebiet in zahlreichen Ländern Asiens.

Kollegen, Freunde und Studierende trauern um einen scharfsinnigen, engagierten Wissenschaftler und Lehrer und um einen liebenswerten, geistreichen und humorvollen Menschen.

> AUSGEZEICHNET

BAUMGÄRTEL-PREIS FÜR FÜGETECHNIK VERLIEHEN

Erstmals wurde am 20. Dezember 2005 der Baumgärtel-Preis für Fügetechnik vom Institut für Füge- und Schweißtechnik der TU Braunschweig in Verbindung mit dem Stifter Ulrich Baumgärtel verliehen. Der Preis wird an Absolventen und Studierende vergeben, die in ihrer Studien- und Diplomarbeit einen bemerkenswerten Beitrag zu füge- und schweißtechnischen Fragestellungen geleistet haben. Er ist insgesamt mit 2.500 Euro dotiert.

Ulrich Baumgärtel stiftet den Preis in Erinnerung an seinen Vater Dr. Kurt Baumgärtel, der von 1925 bis 1929 als Assistent am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Wasserturbinen der damaligen TH Braunschweig arbeitete. Von 1929 bis zu seinem Tod 1935 wurde er zum Dozenten für das gesamte Gebiet der Schweißtechnik berufen und hat den Grundstein für die schweißtechnische Forschung und Lehre an der Carolo-Wilhelmina gelegt.

Den Baumgärtel-Preis für die beste Diplomarbeit erhielt Dipl.-Ing. Christian Eberdt. Er hat sich mit dem Einsatz von Kleben im Fahrzeugbau bei hohen Temperaturen beschäftigt. Im Fahrzeugbau hat das Kleben in vielen Fällen das Schweißen verdrängt. Vorteile sind die verbesserte Korrosionsbeständigkeit und die erhöhte Crash-Sicherheit. Christian Eberdt hat sich mit Klebstoffmodifikationen befasst, die auch bei Temperaturen von bis zu 150 Grad noch hohe Festigkeitswerte aufweisen, wie sie in der Umgebung des Motors und der Abgasanlage vorkommen.

Für die beste Studienarbeit wurde Dipl.-Ing. Thilo Koch ausgezeichnet. Er hat sich mit leichten Sandwich-Verbundkonstruktionen aus Holz und Kunststoffschäum für die Fußböden von Schienenfahrzeugen beschäftigt. Die Fußböden sind durch das Personenaufkommen insbesondere im Eingangsbereich der Wagen hoch belastet. Thilo Koch hat sich in seiner Studienarbeit mit dem Verhalten und der Festigkeit solcher Bodenstrukturen bei unterschiedlichen Belastungen auseinandergesetzt und hier Grundlagen für zukünftige Entwicklungen gelegt.



v. l. n. r.: Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger, Dipl.-Ing. Christian Eberdt, Dipl.-Ing. Thilo Koch und Ulrich Baumgärtel

IMPRESSUM

Herausgeber Institut für Füge- und Schweißtechnik **Verantwortlich** Prof. Dr.-Ing. K. Dilger **Redaktion** Dipl.-Ing. Gregor Hemken **Anschrift** Langer Kamp 8 – 38106 Braunschweig **E-mail** ifs-bs@tu-braunschweig.de **www.ifs.tu-braunschweig.de**