



NEUE VERFAHREN

# Den Vorsprung sichern

In dem Maße, wie der Verbraucher mehr von seinen Produkten verlangt, steigt der Anspruch an die Fügetechnik. So konzentriert sich die Forschung auf diesem Gebiet darauf, neue Werkstoffe sicher zu verbinden und Nähte hochbelastbar zu gestalten. Ist Aluminium zu schweißen, bieten sich Hybridverfahren aus Lichtbogen und Laser beziehungsweise Nd:YAG- und Diodenlaser an. Rührreibschweißen, HLDL-Schweißen, Simulation und kontrollierter Klebstoffauftrag sind weitere Schlagworte für Innovationen auf dem Gebiet des Fügens.

**DER TREND** zur Funktionsintegration sowie zu erhöhten Anforderungen an die Werkstoffe und an das äußere Erscheinungsbild bei gleichzeitiger Kostenreduzierung und Steigerung der konstruktiven Freiheit erfordert es, die klassischen Fügeverfahren stetig weiterzuentwickeln. Ein Ziel der permanenten Verbesserung neuartiger Verbindungstechnologien besteht darin, sich scheinbar widersprechende Anforderungen wie sehr große Genauigkeit bei gleichzeitig hoher Fehlertoleranz oder sehr hohe Festigkeitswerte für sämtliche Lastzustände zu vereinen. Ein zusätzlicher Forschungsbe-

darf resultiert aus dem wachsenden Anteil an Leichtbauwerkstoffen, denn neuartige Aluminium- und Magnesiumlegierungen können mit herkömmlichen Fügeverfahren oft nur unzureichend verbunden werden.

## Hybridschweißen – ideal für Aluminiumbauteile

Die besonderen Herausforderungen beim Schweißen von Aluminium bestehen in der lokalen Beseitigung der Oberflächen-Oxidschicht, in der vergleichsweise niedrigen Viskosität der Schmelze und in der hohen Wärmeleitfähigkeit von Aluminium. So ge-

nannte 6XXX- und 7XXX-Aluminiumlegierungen sind zudem heißrissanfällig – je nachdem, wie hoch ihr Silizium- oder Magnesiumanteil ist. Die Anforderungen an ein Fügeverfahren für die industrielle Anwendung sind dann besonders hoch, wenn prozessimmanent Bauteiltoleranzen mit einer hohen Spaltüberbrückbarkeit ausgeglichen werden sollen oder wenn Bleche, Druckguss und Strangpressbauteile im Mix zu verbinden sind. Die Volkswagen AG ([www.volkswagen.de](http://www.volkswagen.de)) hat sich das strategische Ziel gesetzt, den höchsten Anteil an Laserschweißungen je Fahrzeug in der



**Rührender Notbehelf:** Obwohl das Friction Stir Welding sehr wirtschaftlich ist, gilt die Anlagentechnik als teuer. Oft wird deshalb auf modifizierten Standard-Werkzeugmaschinen rührreibgeschweißt, hier auf einer NC-Fräsmaschine

Automobilindustrie zu haben. Und tatsächlich werden beispielsweise an den Türen des VW Phaeton mehr als 3,5 m Lasernähte gesetzt; nach Angaben von VW sind es die stabilsten Fahrzeugtüren der Welt [1]. Entscheidend für dieses Ergebnis war der Einsatz eines Hybrids aus Laser- und Lichtbogenschweißen. Die zugehörige Anlagentechnik stammt vom österreichischen Schweißwerkzeughersteller Fronius ([www.fronius.com](http://www.fronius.com)). Allerdings ist das Einstellen der optimalen Schweißparameter bislang noch ein komplexer Prozess, weil die physikalischen Wechselwirkungen zwischen Laserstrahl und Lichtbogen noch nicht vollständig bekannt sind. Zurzeit erforscht das iwB ([www.iwb.tum.de](http://www.iwb.tum.de)) deshalb die Grundlagen des bifokalen Laserstrahlschweißens, bei dem ein Nd:YAG-Laser ›HL 3006 D‹ von Trumpf ([www.trumpf.com](http://www.trumpf.com)) und ein Hochleistungs-Diodenlaser ›LDL-3000‹ von Laserline ([www.laserline.de](http://www.laserline.de)) in einem Hybrid zusammengeführt werden. Die Vorteile sind vergleichbar mit denen des oben beschriebenen Laser-Lichtbogen-Hybrids, jedoch sind die Prozessparameter einfacher einstellbar, weil es sich um einen Hybrid handelt, der nur aus Lasern besteht. Der Lichtbogenprozess ist außerdem nur bei Verwendung bestimmter Schutzgase oder Gasgemische stabil. Beim reinen Laserhybrid fallen diese Restriktionen weg und es ergeben sich neue Perspektiven und Potenziale aufgrund der freien Gaswahl. Wegen der Synergie beider Laserstrahlquellen verbessert sich das Prozessergebnis deutlich. Die Vorschubgeschwindigkeit

lässt sich verdoppeln, die Oberflächenrauheit stark reduzieren und der Wirkungsgrad des Schweißprozesses steigt um 20 Prozent [2]. Diese Erkenntnisse des Hybridschweißens basieren auf Forschungsarbeiten des Sonderforschungsbereichs SFB/TR 10, der von der deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird.

### Das Rührreibschweißen ist stark im Kommen

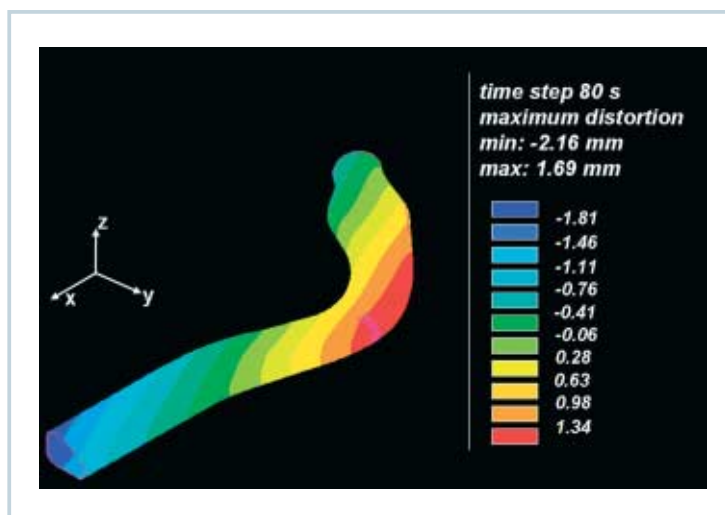
Seit seiner Erfindung Anfang der neunziger Jahre hat sich das Rührreibschweißen (Englisch: Friction Stir Welding oder kurz FSW) erstaunlich entwickelt. Schon 1999 berichtete O. T. Midling von der großindustriellen Anwendung des FSW beim Herstellen von Schiffdecks aus Aluminium-Strangpressprofilen bei der Firma SAPA ([www.sapa.se](http://www.sapa.se)). Weitere Anwendungsfälle folgten auf dem Sektor der Schienenfahrzeuge sowie bei der Fertigung des japanischen Hochgeschwindigkeitszugs Shin-Kansen. Man wendete das Verfahren bei den sehr großen Bauteilen deshalb an, weil aufgrund des geringen Bauteilverzugs Kosten eingespart werden konnten. Ein weiteres Anwendungsgebiet für

das FSW ergab sich in der Luft- und Raumfahrtindustrie beim Fügen von hochfesten, aber schlecht schmelzschweißbaren Legierungen. Lockheed Martin ([www.lockheedmartin.com](http://www.lockheedmartin.com)) stellt beispielsweise Komponenten für die Space Shuttles der NASA mittels FSW her und Eclipse Aviation ([www.eclipseaviation.com](http://www.eclipseaviation.com)) fertigt ein FSW-geschweißtes Zivilflugzeug. Trotz der vielfältigen Vorteile des FSW ist der finanzielle Aufwand für die benötigte Anlagentechnik oftmals ein Hemmnis für Firmen, in diese zukunftsweisende Technologie zu investieren. Um die Kosten der Anlagentechnik niedrig zu halten, wird zurzeit untersucht, inwieweit es möglich ist, vielfach schon vorhandene Fräsmaschinen für das FSW zu nutzen. Am iwB verwendet man für diese Entwicklungsarbeit ein Bearbeitungszentrum ›MCH 250‹ von Heller ([www.heller.de](http://www.heller.de)). Sehr erfolgreiche Ergebnisse konnten in Zusammenarbeit mit der MAN Technologie AG ([www.man.de](http://www.man.de)) bereits erzielt und veröffentlicht werden [3].

### Hochleistungs-Diodenlaser für diffizile Präzisionsnähte

In vielen Fällen des technischen Anlagenbaus lässt sich die Produktion nur steigern, wenn man die Wärmeabfuhr von der jeweiligen Funktionskante oder -fläche beschleunigt. Das ist konstruktiv machbar, indem man den Abstand Kühlung – Funktionsfläche reduziert. Sehr lange, komplexe Kühlkanäle beispielsweise lassen sich nicht

auf herkömmliche Weise bohren. Deshalb müssen die Kanäle konventionell gefräst und mit Deckblechen dicht verschlossen werden. Dabei ist es notwendig, eine möglichst schmale Naht mit minimalem Verzug zu erzeugen, um die Funktionskante oder -fläche nicht zu beeinträchtigen. Aufgrund der stark unterschiedlichen Wandstärken sowie der schmalen Naht sind konventionelle Lichtbogenschweißverfahren



**Aufschlussreich:** Simulierter Verzug einer lasergeschweißten Naht an einem Automobil-Zulieferteil



**Klebstoffauftrag im Griff:** Dieser Sensor von Quiss ermöglicht im Werk Sindelfingen von Daimler-Chrysler die Inprozess-Kontrolle beim Kleben komplex geformter Serienteile mit moderner Fügetechnik

wie WIG oder MAG nicht anwendbar. Laserstrahlschweißverfahren mit Nd:YAG-Laser und CO<sub>2</sub>-Laser sind ebenfalls nicht vorteilhaft, weil die zu überbrückenden Fügspalten in ihrer Breite variieren. Ein zielführendes Verfahren ist in diesem Fall das Fügen mit dem Hochleistungs-Diodenlaser (HLDL). Gegenwärtig untersucht man den Einfluss des verwendeten Prozessgases, mit dessen Zusammensetzung zum Beispiel die Einschweißtiefe gesteuert werden kann [4]. Der Mittelstand benötigt schnelle und effiziente Lösungen zum Gestalten und Optimieren von Fertigungsprozessen, speziell von Fügeprozessen. Oft reichen die Flexibilität und die Kapazität der im Unternehmen vorhandenen Anlagentechnik nicht aus, um Produkt- oder Prozessinnovationen durch intensive praktische Versuche erarbeiten zu können. Die Lösungsalternative ›Simulation‹ wirkt für den Anwender häufig eher hemmend, weil zunächst ein erheblicher Aufwand notwendig ist, um fundierte Berechnungsergebnisse zu erhalten. Zurzeit wird daher intensiv daran gearbeitet, die virtuelle Abbildung eines Prozesses beziehungsweise der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Produkt in anwendergerechte Methoden umzusetzen. Das Abbilden und Berechnen des Schweißverzugs steht dabei im Mittelpunkt [5]. Für die Simulation wird am iwb das Programm ›Sysweld‹ der Eschborner Firma ESI

([www.esi.com](http://www.esi.com)) verwendet. Hierbei zeigen die Simulationsergebnisse eine deutliche qualitative Übereinstimmung mit den real geschweißten Bauteilen.

### Es funktioniert: Kleben mit Qualitätskontrolle

Das Kleben ist ein weiteres Fügeverfahren mit erheblichem Rationalisierungspotenzial in der Praxis. Grundsätzlich kann man den Klebstoff entweder manuell oder automatisiert auftragen. Obwohl die gute Reproduzierbarkeit der Raupenform und der Raupenpositionierung für das Automatisieren sprechen, hemmen Qualitätsprobleme aufgrund von Dosierfehlern die breite Anwendung. Im Gegensatz zu systematisch bedingten Dosierfehlern lassen sich zufällige Dosierfehler wie Inhomogenitäten im Klebstoff kaum gezielt vermeiden. Eine Verbesserung des Gesamtergebnisses ist demnach nur zu erwarten, wenn Fehler, falls sie nicht vermieden, zumindest detektiert werden können. Dafür bietet sich eine Sensorik an, die das Auftragsergebnis unmittelbar überprüft. Mit einer solchen Sensorik ist eine gleichzeitig mit dem Auftrag stattfindende Inline-Klebstoffkontrolle möglich. Deren Vorteil besteht in der Einsparung zusätzlicher Taktzeit für Messvorgänge. Daimler-Chrysler ([www.daimlerchrysler.com](http://www.daimlerchrysler.com)) nutzt seit März 2004 das Bildverarbeitungssystem ›RTVision\_t‹ des Herstellers Quiss ([www.quiss.com](http://www.quiss.com)). Das System prüft den Klebstoffauftrag an einem komplex geformten Bauteil in der Serienproduktion. In enger Zusammenarbeit mit dem Center Karosserietechnik/Betriebsmittelbau des Werks Sindelfingen konnten bereits Erfolg versprechende Ergebnisse für den gezielten Klebstoffauftrag erarbeitet werden.

Eine andere Strategie zur Qualitätssteigerung wird derzeit mithilfe einer Konturfolgesensorik für den sensorgeführten Klebstoffauftrag erarbeitet. Die Vorteile sind ein reduzierter Programmierumfang, eine schnelle Anpassbarkeit an neue Geometrien und eine gesteigerte Raupenqualität. In mehreren produktionsnahen Versuchen konnte nachgewiesen werden,

dass ein sensorgeführter Klebstoffauftrag erfolgreich realisiert werden kann.

Das Fazit: Damit der Produktionsstandort Deutschland im internationalen Vergleich auch in Zukunft wettbewerbsfähig ist, sind ständige Innovationen erforderlich. Wenn es gelingt, Fortschritte auf dem Gebiet der Fügetechnik noch schneller praktisch umzusetzen, kann auf Sektoren wie dem Leichtbau ein technologischer Vorsprung geschaffen werden, der als

### Literatur

- 1 Graf, T. und H. Stauer: Laserhybrid process at Volkswagen. IIW-Document XII-1730-02
- 2 Trautmann, A., S. Roeren und M. F. Zäh: Welding of Extruded Aluminium Profiles by a Hybrid Bifocal Laser System. Proceedings of 4th LANE 2004. Erlangen 2004, S. 169-180
- 3 Eireiner, D., M. F. Zäh und L. Papadakis: Friction Stir Welding with modern Milling Machines. Proceedings of the 5th Friction Stir Welding Symposium. Metz/Frankreich, 14.-16. September 2004
- 4 Härtl, J. und M. F. Zäh: Diode laser welding: basic processing parameters and application. Proceedings of the 2nd WLT-Conference. München 2003, S. 73-78
- 5 Zäh, M. F., F. Auer und S. Roeren.: Simulation of Laser Beam Welding Production Processes. Proceedings of the 3rd international CIMTEC Conference. Acireale/Italien, 2004

qualitatives Alleinstellungsmerkmal die Vorzüge der heimischen Produktion gegenüber der in Niedriglohnländern dauerhaft sichert. ■

**MICHAEL F. ZÄH, TOBIAS HORNFECK, ANDREAS TRAUTMANN, DIETER EIREINER, SVEN ROEREN** und **KLAUS SCHLICKENRIEDER**  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der TU München  
[www.iwb.tum.de](http://www.iwb.tum.de)