

Von den Enden her geschweißt

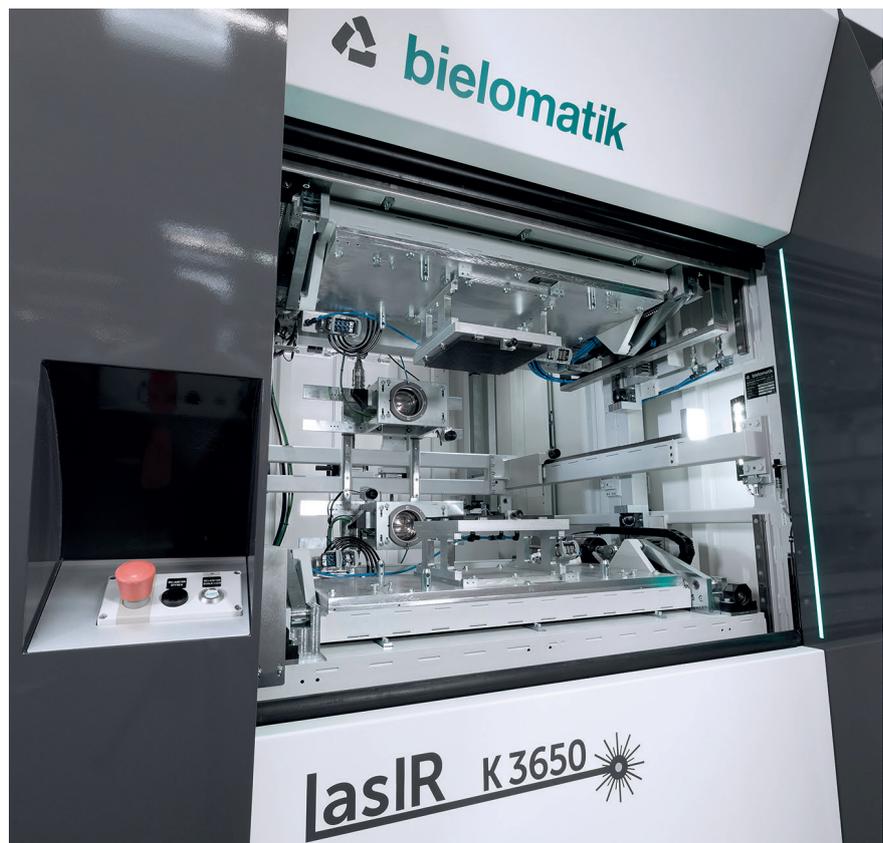
Weiterentwickeltes Laser-Stumpfschweißen zum Fügen hochwandiger und materialgleicher Bauteile

Nachdem technische Fortschritte heute die Realisierung erleichtern, könnte das bereits in den 1990er-Jahren erdachte Laser-Stumpfschweißen nun seinen Durchbruch erleben. Denn neben hochwandigen Bauteilen lassen sich mit diesem Verfahren jetzt auch Kunststoffe aus demselben Material mithilfe präziser Lasertechnik verschweißen.

Das bisher am häufigsten eingesetzte Laserschweißverfahren für Kunststoffe ist das Durchstrahlschweißen. Dabei durchdringt ein Laserstrahl einen – für die Wellenlänge des Lasers – transparenten Fügepartner und wird im zweiten, absorbierenden Fügepartner durch Strahlungsabsorption in Wärme umgewandelt. Diese Absorption wird z.B. durch Zugabe von Rußpartikeln erreicht. Die Erwärmung erfolgt durch oberflächennahe vollständige Absorption, wobei die Laserenergie in Wärmeenergie umgewandelt wird. Durch Wärmeleitung wird der mit dem absorbierenden Partner in Kontakt stehende transparente Fügepartner ebenfalls aufgeschmolzen.

Vor- und Nachteile des Laser-Durchstrahlschweißens

Die Vorteile des Laser-Durchstrahlschweißens liegen in einem geringen Wärmeeintrag abseits des Schweißsteges. Darüber hinaus ist das Verfahren nahezu erschütterungsfrei und gehört zu den partikelfreien Schweißverfahren. Der Schweißprozess verursacht keine zusätzlichen Verunreinigungen im Bauteil. Das Verfahren findet daher breite Anwendungen im Bereich der Medizintechnik sowie in der Elektronikindustrie. Die gebräuchlichste Variante des Durchstrahlschweißens ist das Quasi-Simultanschweißen. Hier wird der Laserstrahl mithilfe von Scan-Spiegeln mit einer hohen Verfahrensgeschwindigkeit von bis zu 10 m/s entlang der Schweißkontur geführt. Durch die hohen Geschwindigkeiten der an sich punktförmigen Energiequelle lässt sich die Füge-



Turn2Weld-Verfahren: Die neu entwickelte LasIR-Schweißmaschine verwendet pro Fügepartner einen Laser und schwenkt die Maschinentische mithilfe von Servomotoren um 90° zu den Laserscannern (© bielomatik)

fläche mehrfach abfahren, wodurch die gesamte Fügefläche annähernd gleichzeitig erwärmt und plastifiziert wird [1, 2].

Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass beim Herstellungsprozess (Spritzgießen) der beiden Fügepartner ein getrenntes Material- und Werkzeughandling erforderlich ist. Des Weiteren gibt es für den transparenten Fügepartner Ein-

schränkungen bezüglich der Form und vor allem bei der Materialstärke des Kunststoffes. Je nach verwendetem Material darf die Höhe der vom Laser durchstrahlten Schicht nur einige Millimeter betragen, also nicht zu hochwandig sein.

Es gibt zum Laserschweißen konkurrierende Verfahren, bspw. Heizelement-, Infrarot- oder Heißgasschweißen, mit »

denen es möglich ist, einheitlich eingefärbte Bauteile mit hochwandigen Deckeln und Schalen zu verschweißen. Diese besitzen aber den Nachteil, dass die Wärmeabstrahlung nicht ausreichend fokussierbar ist und sie somit sensible Bauteile sowohl optisch als auch funktionell beeinflussen können, was in der Regel auch relativ unkontrolliert geschieht. Des Weiteren benötigen diese Verfahren ein bauteilspezifisches Heizmittel (Heizelement, IR-Strahler, Heißgaswärmetauscher und -Verteiler), welches zu den Werkzeugkosten hinzukommt.

Laser-Stumpfschweißen als Alternative

Um hochwandige Kunststoffe aus dem gleichen Werkstoff mithilfe eines Lasers fügen zu können, wurde in den 1990er-Jahren das Laser-Stumpfschweißen als neue Variante des Laserschweißens beschrieben. Es sollte damals eine Marktlücke schließen. Anders als beim Durchstrahlschweißen werden beim Laser-Stumpfschweißen zwei absorbierende Bauteile geschweißt.

Da das Aufschmelzen der Fügepartner und der Fügeprozess technisch nicht parallel ablaufen können, ist das Laser-Stumpfschweißen – im Vergleich zum einstufigen Durchstrahlschweißen – ein zweistufiger Prozess. Wie bei klassischen Schweißverfahren (z.B. Infrarot- oder Heizelementschweißen) sind die Fügepartner auf zwei Maschinentischen positioniert. Während der Anwärmphase fahren Umlenkspiegel zwischen die beiden zu fügenden Bauteile. Der vom Laser emittierte Strahl wird über einen Scanner auf die Umlenkspiegel gelenkt (**Bild 1**).

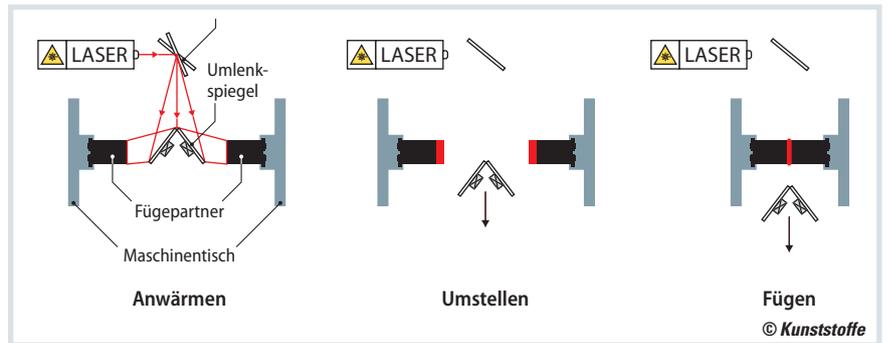


Bild 1. Funktionsprinzip: Beim klassischen Laserstumpfschweißen wurden die aufeinander ausgerichteten Fügepartner über dazwischen positionierte Umlenkspiegel angewärmt, die vor dem Fügen wieder in die Grundposition bewegt werden mussten [1, 3] (Quelle: bielomatik)

Analog zum Quasi-Simultanschweißen werden die Scanner-Spiegel mit hoher Frequenz bewegt, sodass der Laserstrahl die Schweißnaht homogen erwärmt. Ist die benötigte Schweißtemperatur bzw. Schmelzeschichtdicke erreicht, werden die Umlenkspiegel wieder in Grundstellung bewegt, die Maschinentische fahren zusammen, und die beiden zu schweißenden Bauteile werden gefügt. Ähnlich wie beim Heizelementschweißen entsteht dabei ein ausgeprägter Schweißwulst [3].

Nachteile des klassischen Laser-Stumpfschweißens

Mehrere Faktoren haben jedoch dazu geführt, dass sich das Laser-Stumpfschweißen nie am Markt durchsetzen konnte: Zunächst einmal war die Auswahl der Laserquellen Mitte der 90er-Jahre stark eingeschränkt. Für das Kunststoffschweißen wurden hauptsächlich Nd:YAG-Laser eingesetzt. Der Einsatz dieser Quellen ging je-

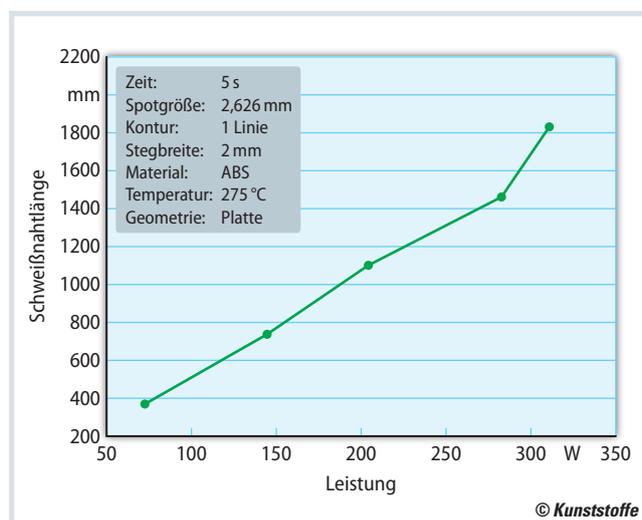
doch mit einem vergleichsweise schlechten Wirkungsgrad (< 5 %) und hohen Wartungsaufwänden einher.

Auch preislich waren derartige Laser aufgrund der Neuheit der Entwicklung sicher sehr teuer im Vergleich zu einem bauteilspezifischen Heizelement. Die Scannertechnologie war zum Zeitpunkt der Verfahrensentwicklung auch nicht auf dem heutigen Stand hinsichtlich Geschwindigkeit, Präzision und Wiederholgenauigkeit, auch unter dem Aspekt von thermischen Driftvorgängen und vergleichbaren Einflussgrößen. Das größte Hemmnis aus heutiger Sicht waren aber sicherlich die Umlenkspiegel. Im Umfeld einer industriellen Serienproduktion mit kurz getakteten Erwärmzyklen hätten in kurzer Abfolge Laserleistungen von 100 bis 400 Watt relativ bauteil- und damit fokusnah umgelenkt werden müssen. Das erfordert hochvergütete und ggf. wassergekühlte Spezialspiegel, die hohe Kosten erzeugen.

Nicht trivial ist auch die Führung des Laserstrahls: Die Bauteilkontur wird beim Laserschweißen üblicherweise direkt aus den CAD-Daten des Schweißstegs abgeleitet. Durch die Umlenkung (45°-Lage des Spiegels) wird die softwaretechnische Umwandlung der Kontur unter der Berücksichtigung von Einfallswinkel und Ausfallswinkel am Spiegel und dem veränderlichen Abstand Spiegel-Schweißsteg sehr komplex. Das mechanische Bewegen der Spiegel zur Reflexion der Strahlung auf die Kunststoffteile wirft zudem die Frage nach der positionsgetreuen Wiederholbarkeit auf.

Ein weiterer Schwachpunkt in der industriellen Fertigungsumgebung ist sicherlich die Verschmutzungsanfälligkeit der Umlenkspiegel. Durch den geringen Abstand zu den Fügepartnern können

Bild 2. Bei steigender Schweißnahtlänge wird eine höhere Laserleistung nötig [4] (Quelle: bielomatik)



sich unter Umständen Verschmutzungen auf der Spiegeloberfläche ablagern. Im schlimmsten Fall führt dies zu einer Verbrennung der Staubpartikel durch den Laser und einer Beschädigung des Spiegels. All diese Fragestellungen und Kritikpunkte sind für das in **Bild 1** dargestellte Verfahren relevant, wurden jedoch aufgrund des ausbleibenden Erfolgs des Verfahrens in der industriellen Umsetzung nie abschließend geklärt.

Auch die für die Bewegungen des Spiegels und der Bauteilachsen früher überwiegend eingesetzten pneumatischen Antriebe stellen eine Schwachstelle dar. Durch die damit einhergehenden langen Umstell- und Positionierungszeiten bestand die Gefahr, dass der erwärmte Kunststoff zu stark auskühlt. Gerade bei technischen Kunststoffen mit hohem Schmelzpunkt wie Polyamid 6 (PA 6) oder 66 (PA 66) führt dies dazu, dass das Material bereits vor dem Fügen eine Bindehaut bildet oder nicht mehr fließfähig genug ist.

Laser-Stumpfschweißen weiterentwickelt

Das von bielomatik entwickelte Turn2Weld-Verfahren (**Titelbild**) hebt die Nachteile des Durchstrahlschweißens (hohes Werkzeughandling, dünne Bauteile) und des Laser-Stumpfschweißens (schlechte Positionierung, lange Umstellzeiten, Problematik mit den Umlenkspiegeln) auf. Es unterscheidet sich vom Laser-Stumpfschweißen durch die Schwenkbewegung der Maschinentische. Dadurch kann auf die Umlenkspiegel verzichtet werden, was die Positionierungsungenauigkeit beseitigt und zu erheblichen technischen und wirtschaftlichen Verbesserungen führt. Beim Turn2Weld-Verfahren handelt es sich ebenfalls um einen zweistufigen Schweißprozess. Die Maschinentische werden durch Servomotoren um 90° zu den Scannern der Laser geschwenkt. Durch diese Servomotoren werden je nach Maschinengröße Umstellzeiten von unter 1,5 s erreicht.

Um eine möglichst große Fügefläche aufschmelzen und Material- bzw. Geometrieunterschiede kompensieren zu können, ist pro Fügepartner ein Laser vorhanden. Als Laserquelle stehen je nach Werkstoff und Absorptionscharakteristik unterschiedliche Typen zur Verfügung. Für schwarz eingefärbte Kunststoffe mit Rußpartikeln werden Diodenlaser ver-

wendet. Durch den Einsatz von CO₂-Lasern ist es möglich, auch transparente Kunststoffe wie PMMA oder PC zu verschweißen. Ebenso ist eine Kombination aus CO₂- und Diodenlaser möglich, um transparente mit nicht-transparenten Fügepartnern zu verschweißen. Je nach Maschine und verbauten Laserkomponenten werden Arbeitsfelder von derzeit bis zu 400 x 400 mm² erreicht. Durch eine auf den jeweiligen Kunststoff angepasste Leistungskurve, die die Leistung über die Anwärmphase hinweg verändert, lässt sich das Ergebnis im Hinblick auf Wärmeintrag, Schmelzeschichtdicke und Prozesszeit optimieren.

Neben den Laserkomponenten werden beim Turn2Weld-Verfahren ausschließlich Aufnahmewerkzeuge für die beiden Fügepartner benötigt. Eine Anpassung des Laserprogramms wird durch einen einfachen Programmwechsel bewerkstelligt. Damit ist eine „One-Piece-Flow“-Variantenfertigung denkbar.

Begrenzungen in der Schweißbarkeit bestehen – je nach verwendetem Kunststoff und Schweißnahtbreite – ausschließlich für Bauteile mit sehr langer Schweißnahtlänge. Um die gleiche Oberflächentemperatur zu erreichen, wird bei steigender Schweißnahtlänge auch mehr Laserleistung benötigt (**Bild 2**). Die maximale Schweißnahtlänge ist zudem von der geometrischen Beschaffenheit der Fügepartner abhängig. So haben Untersuchungen gezeigt, dass bei steigender Komplexität der Bauteilgeometrie (T-Stoß, Ecken, Kanten, Rundungen, Faltung, ...) die resultierende Geschwindigkeit des Spots auf dem Bauteil abnimmt.

Hinsichtlich Qualitätsanforderungen bietet das Turn2Weld-Verfahren einen großen Vorteil im Gegensatz zu den meisten anderen Schweißprozessen. IR-Kameras können die Oberflächentemperatur der Bauteile über die gesamte Anwärmphase hinweg überwachen. Dies ist bei Schweißverfahren nicht möglich, bei denen die Wärmequelle die Sicht auf den Schweißsteg abdeckt. Diese Verfahren erlauben ausschließlich Schnappschüsse der Temperaturverteilung nach der Anwärmphase, wenn das Heizelement oder der IR-Strahler wieder in Grundeinstellung gefahren ist. Beim Turn2Weld-Verfahren kann Inline-Monitoring dagegen Qualitätsschwankungen sehr schnell identifizieren, denen dann entgegenge wirkt werden kann.

Fazit: konventionelles Verfahren und Laserschweißen in Kombination

Das neu entwickelte Turn2Weld-Verfahren ist nach knapp zwei Jahren Materialuntersuchungen, Machbarkeitsstudien und Prototypenschweißungen inzwischen serienreif und wird auf der Messe „K 2019“ im Oktober in Düsseldorf zu sehen sein. Neben hochwandigen Bauteilen können nun auch Kunststoffe aus demselben Material mithilfe eines Lasers verschweißt werden. Was bisher exklusiv konventionellen Schweißverfahren vorbehalten war, wird mit den Vorteilen eines fokussierten Laserschweißprozesses verbunden und schließt somit eine Lücke zwischen Laserbasierten und konventionellen Verfahren zum Kunststoffschweißen.

Offen bleibt noch, den Schweißprozess hinsichtlich der Bauteileigenschaften zu optimieren. In Zusammenarbeit mit universitären Einrichtungen und Instituten wird dazu derzeit eine Bestrahlungsstrategie erarbeitet. Ziel soll es sein, abhängig vom Kunststoff-Material und der geometrischen Eigenschaft der Bauteile mittels Berechnung und Simulation der Schweißparameter und des Schweißprozesses ein optimales Ergebnis erreichen zu können. ■

Die Autoren

Christian Class, M.Sc., ist seit 2017 Entwicklungsingenieur bei der bielomatik Leuze GmbH + Co. KG, Neuffen; christian.class@bielomatik.de

Matthias Greif, M.Sc., ist seit 2017 Entwicklungsingenieur bei bielomatik Leuze; matthias.greif@bielomatik.de

Dr.-Ing. Tobias Beiß ist seit 2009 Leiter Innovationsmanagement bei bielomatik Leuze; tobias.beiss@bielomatik.de

Service

Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-06

English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com