



# Stärker, Schneller, Besser - Hochgeschwindigkeits-Laserstrahlschweißen von Aluminiumlegierungen

Das defektfreie Schweißen von Aluminium stellt immer noch eine besondere Herausforderung dar. Am IFSW wurden nun Laserstrahlschweißungen in Aluminiumlegierungen der 6000er Reihe demonstriert, die praktisch frei von Prozessporen, Nahtmittenrissen und Fluktuationen der Einschweißtiefe sind. Ermöglicht wurden diese Ergebnisse durch das Optimieren von Schweißungen mit einem Scheibenlaser mit 16 kW Ausgangsleistung. Durch die hohe Strahlleistung konnte mit Geschwindigkeiten von mehr als 50 m/min bei relativ großen Fokusburchmessern von ca. 600  $\mu\text{m}$  geschweißt werden. Die sehr hohen Vorschübe erweisen sich als ausschlaggebend für die Qualität der Schweißungen.

Zwar ermöglicht das Werkzeug Laser effizientes Fügen auch in anspruchsvollsten Anwendungen, das Schweißen von Aluminium stellt jedoch immer noch eine Herausforderung dar. Beim Laserstrahlschweißen wird die Prozessenergie in das Werkstück über die sogenannte Dampfkapillare eingekoppelt, deren Instabilität Ausgangspunkt für Nahtdefekte ist. Insbesondere beim Schweißen von Aluminiumlegierungen sind diese durch Poren- und Spritzerbildung, sowie durch eine schwer zu kontrollierende Einschweißtiefe gekennzeichnet. Schweißnähte in Randnähe des Bauteiles sind, insbesondere bei Legierungen der 6000er Gruppe, zudem anfällig für Heißrisse [1] - im speziellen für sogenannte Nahtmittenrisse, die sich beim Erstarrungsvorgang längs durch die Naht ausbreiten [2]. Deren Bildung wird durch das Zusammenwirken von thermomechanischen Belastungen, Erstarrungsschrumpfung und der lokalen Zusammensetzung der Schmelze in der Erstarrungszone bestimmt. Bei konven-

tionellen Schweißparametern mit einigen Kilowatt Laserleistung und den damit realisierbaren Vorschüben von bis zu 10 m/min sind Randabstände von mindestens 6 mm nötig um die Bildung von Nahtmittenrissen zu vermeiden.

Bisherige Erkenntnisse legen den Schluss nahe, dass sich sowohl die Kapillarstabilität, als auch die thermomechanische Belastung der Bauteile durch Verlagerung des Schweißprozesses hin zu sehr hohen Vorschüben positiv beeinflussen lassen [2,3]. Aufbauend auf diesen Überlegungen wurde am IFSW mit einem von der Firma Trumpf GmbH + Co. KG bereitgestellten 16 kW Scheibenlaser TruDisk16002 die Aluminiumlegierung AA6016X der Firma Constellium mit sehr hoher Vorschubgeschwindigkeit von 30 bis 75 m/min geschweißt. Die hohe Laserleistung wurde verwendet um besonders hohe Schweißgeschwindigkeiten bei moderaten Einschweißtiefen von bis zu 2,4 mm zu erreichen. Geschweißt wurden zwei jeweils 1,2 mm starke AA6016X Bleche im

Überlappstoß. Der Laserstrahl wurde dabei um 3 mm defokussiert um einen Strahldurchmesser von 630  $\mu\text{m}$  auf dem oberen Blech zu erreichen. Durch diesen großen effektiven Strahldurchmesser - vgl. mit 200  $\mu\text{m}$  Kerndurchmesser des verwendeten Lichtleitkabels - konnte mit bis zu 50 m/min geschweißt werden, ohne dass Humpingeffekte die Anmutung der Nahtoberfläche beeinträchtigten. In Abbildung 1 ist eine mit 50 m/min geschweißte Naht im Längs- und Querschliff dargestellt. Hierbei wurde eine Einschweißtiefe von 2,2 mm erreicht, die nur um einige 10  $\mu\text{m}$  schwankt. Zusätzlich sind die Schlitze frei von sichtbaren Poren und trotz eines Randabstandes von 4 mm traten keine Nahtmittenrisse auf. Für Schweißungen in Aluminium stellt dies eine außergewöhnliche Nahtqualität dar. Bei einem Vorschub von 30 m/min wurden die Bleche durchgeschweißt.

Anhand von Flachschnitten wurde für beide Vorschübe die Zone kritischer Randabstände hinsichtlich Nahtmittenrissbildung bestimmt (Abbildung 2). Mit 30 m/min konnten Nähte mit 4 mm Randabstand und mit 50 m/min konnten Nähte mit 3 mm Randabstand nahtmittenrissfrei geschweißt werden. Bei konventionellen Schweißparametern (5 kW bei 6 m/min Vorschub) müssen Randabstände von mindestens 7 mm eingehalten werden um Nahtmittenrisse zu vermeiden. Kleinere Randabstände machen die Anwendung zusätzlicher Prozessstrategien notwendig wie Leistungsoszillationen, Stepp-Nähte oder ein Auflegieren der Nahtzusammensetzung durch Zusatzdraht [2].

Zur umfassenden Prozessanalyse wurden Röntgenvideos der Schweißprozesse an der IFSW-Röntgenanlage aufgenommen [4]. Ziel war es den Einfluss des Vorschubs auf die Kapillar-geometrie bei konstanter Einschweiß-

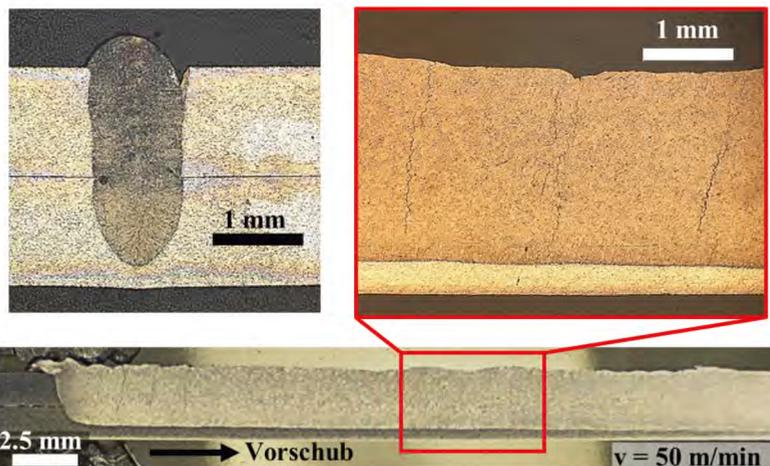


Abbildung 1: Querschliff (links oben) und Längsschliff (unten) mit Vergrößerung (rechts oben) einer Schweißnaht, geschweißt mit 16 kW Laserleistung, einem Strahldurchmesser von  $d_B = 630 \mu\text{m}$  auf der Blechoberseite und einem Vorschub von 50 m/min.

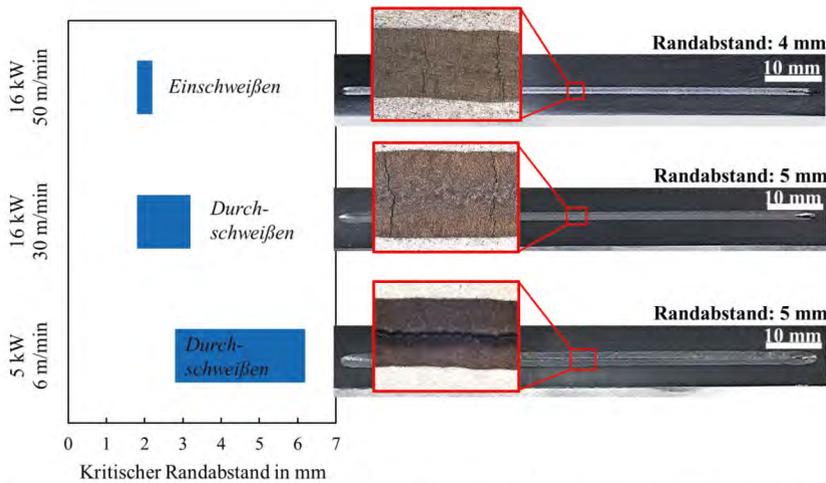


Abbildung 2: Bereiche kritischer Randabstände beim Laserstrahlschweißen von AA6016X (links) und die zugehörigen Flachschnitte (rechts) bei Vorschüben 50 m/min, 30 m/min und 6 m/min und einem Strahldurchmesser von  $d_B = 630 \mu\text{m}$ .

tiefe (entsprechend der Schweißung in Abbildung 1 oben) zu bestimmen. Diese sind in Abbildung 3 für Vorschübe von 4 m/min bis 50 m/min dargestellt. Es treten drei Prozessregime hervor: bei niedrigen Vorschüben (4 m/min) tritt starke Porenbildung auf. Ab 12 m/min fluktuiert die Kapillargeometrie an ihrer Rückwand jedoch ohne Entstehung größerer Poren, wobei mit steigendem Vorschub die Fluktuationen zurückgehen und sich die Kapillarrückwand weiter von der Frontwand entfernt. Dies verhindert ein Kollabieren der Kapillarspitze, welches für Porenentstehung und größere Tiefenfluktuationen verantwortlich ist. Bei 50 m/min weist die Kapillare eine sehr große Öffnung an der Nahtoberfläche auf, die Geometrie ist bis auf geringe Fluktuationen der Rückwand stabil.

Bei Verfügbarkeit von noch höheren mittleren Laserleistungen sollte eine weitere Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit möglich sein - bei gleichfalls guter Nahtqualität und möglicherweise noch geringerer Heißrissanfälligkeit. Es wird erwartet, dass dazu zusammen mit der Vorschubgeschwindigkeit der Strahldurchmesser auf dem Werkstück vergrößert werden muss um Humping zu vermeiden und den Anbindequerschnitt für die nötige mechanische Festigkeit zu gewährleisten. Darüber hinaus bietet das Schweißen von Aluminium mit sehr hohen Laserleistungen und Vorschüben großes Potential die Prozess-, Material- und Ener-

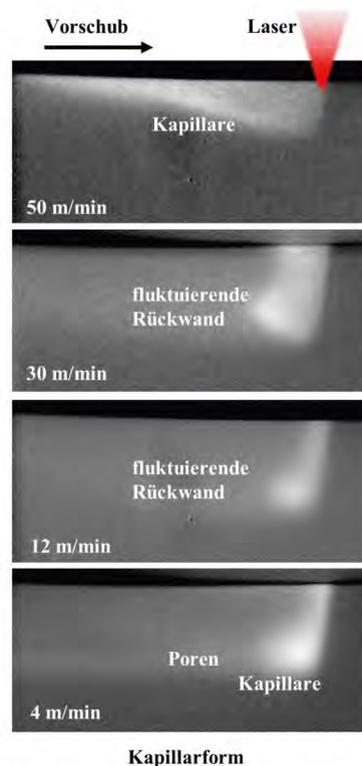


Abbildung 3: Kapillarformen beim Laserstrahlschweißen von AA6082 bei Vorschubgeschwindigkeiten von 50 m/min (oben) bis 4 m/min (unten) und  $d_B = 630 \mu\text{m}$ .

gieeffizienz beim Fügen von Blechen, beispielsweise im Karosseriebau, weiter zu steigern: So führen die hohen Vorschübe zu bis zu zehnfach verkürzten Prozesszeiten und somit zu einer Stei-

gerung der Produktivität. Ferner sinken thermische Verluste durch Wärmeleitung in das zu schweißende Bauteil mit höherer Vorschubgeschwindigkeit. Der Anteil an Energie, der tatsächlich zum Fügen verwendet wird, steigt dementsprechend. Dies ist insbesondere bei Werkstoffen mit sehr hoher Wärmeleitfähigkeit wie Aluminium relevant und für den Prozesswirkungsgrad der Schweißverbindung entscheidend. Raum für Materialeinsparungen ergibt sich durch die Möglichkeit mit hohen Vorschüben nahtmittenrissefrei zu schweißen bei halbierten Randabständen im Vergleich zu konventionellen Schweißparametern. Dies resultiert in einer zusätzlichen Gewichtsreduzierung der Bauteile. Somit hat Laserstrahlschweißen bei sehr hohen Vorschüben und Laserleistungen das Potential Aluminiumschweißungen mit hervorragender Nahtqualität bei minimalen Randabständen mittels unkomplizierter Prozesstechnik und hoher Ressourceneffizienz zu erreichen.

Zu den hier gezeigten Ergebnissen ist ein wissenschaftlicher Artikel zur Publikation eingereicht.

#### REFERENZEN:

- [1] Drezet J-M, Alleheaux D. Application of the Rappaz-Drezet-Gremaud Hot Tearing Criterion to Welding of Aluminium Alloys. Hot Cracking Phenomena in Welds II. 2008: 19-38
- [2] Stritt, Peter. Prozessstrategien zur Vermeidung von Heißrissen beim Remote-Laserstrahlschweißen von AlMgSi 6016. Vol. 81. Herbert Utz Verlag, 2016.
- [3] Seto, Naoki, Seiji Katayama, and Akira Matsunawa. Porosity formation mechanism and suppression procedure in laser welding of aluminium alloys. Welding international 15.3 (2001): 191-202.
- [4] Abt, Felix, et al. Novel X-ray system for in-situ diagnostics of laser based processes - First experimental results. Physics Procedia 12 (2011): 761-770.

#### AUTOREN:

M.Sc. Florian Fetzer  
M.Sc. Christian Hagenlocher  
Tel: +49 (0)711 685 66868  
Tel: +49 (0)711 685 66855  
florian.fetzer@ifsw.uni-stuttgart.de  
christian.hagenlocher@ifsw.uni-stuttgart.de

Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW)  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 43  
70569 Stuttgart

www.ifsw.uni-stuttgart.de