

Vom Doppelfokus zur Fokusmatrix

Die Doppelfokustechnik beim Laserstrahlschweißen, d. h. die Anwendung zweier räumlich getrennter, ein gemeinsames Schmelzbad erzeugender Foki, ist eine Methode, die inzwischen den Sprung vom Labor in die Produktion geschafft hat. Durch eine künstliche Aufweitung der Dampfkapillare ist es möglich, die Prozessstabilität beim Laserstrahlschweißen von Aluminium merklich zu erhöhen, sodass Prozessporen und Schmelzbadauswürfe fast gänzlich vermieden werden können. Die Aufweitung der Dampfkapillare führt jedoch gleichzeitig zu einer Abnahme des Prozesswirkungsgrades. Am IFSW wurde mit bis zu vier Scheibenlaser eine Weiterentwicklung der Doppelfokustechnik, die sogenannte Fokusmatrixtechnik untersucht.

Die mit der Fokusmatrixtechnik erreichbare Strahlqualität von 6 mm*mrad ermöglicht den Einsatz von Lichtleitkabeln mit einem Faserkerndurchmesser von nur 150 µm. Stärkere Fokussierbarkeit bringt beim Schweißen gewichtige systemtechnische Vorteile wie schlankere Optiken und größere Arbeitsabstände. Einerseits lassen dadurch Leistungsfähigkeit, Flexibilität und Integrationsfähigkeit des Laserschweißens erhöhen. Andererseits werden ganz neue Anwendungen ermöglicht, wie z.B. das Scannerschweißen (s. Laser Magazin 4/2002).

Setzt man die Steigerung der Fokussierbarkeit in eine entsprechende Reduzierung der verwendeten Faserkerndurchmesser um, so lässt sich unter Beibehaltung des Gesamt-Außendurchmessers eine Fokusmatrix aufbauen, die zum einen über Faserbündelung (siehe Abb. 1) eine einfache Skalierung zu höheren Leistungen erlaubt und dabei zum andern die Möglichkeit einer flexiblen Strahlformung schafft.

Beim Laserstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen treten Nahtfehler hauptsächlich in Form von Schmelzbadauswürfen, Prozessporen sowie Wasserstoffporen auf. Wasserstoffporosität ist allen Schmelzschweißverfahren

gemeinsam und durch die Werkstoffeigenschaften des Aluminiums und seiner Legierungen begründet. Sie lässt sich durch entsprechende Werkstoffauswahl und Nahtvorbereitung verhindern und kann, wie später gezeigt wird, auch durch das Schweißverfahren beeinflusst werden. Schmelzbadauswürfe und Prozessporen sind jedoch laserspezifisch und haben ihre Ursache in einer instabilen Dampfkapillare. Der Einsatz der Doppelfokustechnik bietet hier die Möglichkeit, die Geometrie der Dampfkapillare so zu beeinflussen, dass ein Kollabieren der Kapillare verhindert werden kann. Aufgrund der unterschiedlichen Ursachen für die Porenentstehung und um eine deutliche Abgrenzung zwischen Prozessporen und Wasserstoffporen zu unterstreichen, soll im weiteren Verlauf dieses Beitrages zwischen dem Schweißen von Aluminium-Knetlegierungen und dem Schweißen von Aluminium-Druckguss unterschieden werden.

Schweißen von Aluminium-Knetlegierungen

Der Vergleich der Fokusmatrix mit den heute eingesetzten Laserschweißverfahren hat gezeigt, dass mit dieser Technologie beim Laserstrahlschweißen von

Aluminium Verbesserungen sowohl hinsichtlich der Qualität als auch hinsichtlich des Prozesswirkungsgrades erzielt werden können. In Abbildung 1 ist der Vergleich der Einschweißtiefen bei verschiedenen Schweißgeschwindigkeiten dargestellt.

Einzelfokustechnik. Mit größer werdendem Fokusabstand ($a = 0,75$ mm) nimmt die Einschweißtiefe ab. Die Fokusmatrix (FM) wird mit der in Abbildung 2 dargestellten Quattrofaser und vier diodengepumpten Scheibenlaser à 1,0 kW realisiert.

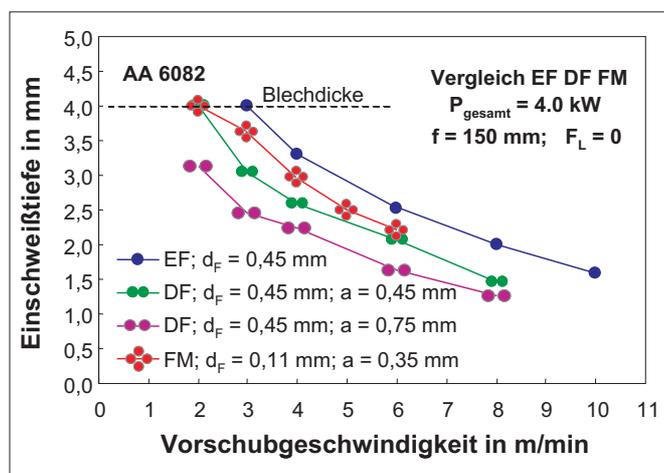


Abb. 1: Schweißen von Aluminium AA 6082 mit verschiedenen Schweißtechniken. Einzelfokus (EF), Doppelfokus (DF) und Fokusmatrix (FM) bei 4,0 kW Gesamtleistung und $f = 150$ mm.

Zu betonen ist hierbei die Tatsache, dass diese Untersuchungen unter identischen Bedingungen durchgeführt wurden. Die Gesamtleistung betrug in allen Fällen 4,0 kW, es wurde eine Bearbeitungsoptik mit einem Abbildungsverhältnis von 1:1,33 verwendet (Brennweite $f = 150$ mm) wobei Argon als Schutzgas eingesetzt wurde. Die Einschweißtiefen, die mit der Einzelfokustechnik (EF) bei 4 kW und einem Fokussdurchmesser $d_f = 0,45$ mm erzielt wurden, sind über den gesamten Geschwindigkeitsbereich am höchsten. Der Doppelfokus wurde durch Strahlteilung erzeugt. Die Gesamtleistung betrug dabei 4,0 kW. Die Kurven der Versuche mit der Doppelfokustechnik (DF) liegen aufgrund der geringeren Effizienz unterhalb der der

Durch die Abbildung der Quattrofaser mit einer 150 mm-Fokussierlinse ergibt sich der Spottedurchmesser $d_f = 0,11$ mm und ein Abstand zwischen den einzelnen Spots von $a = 0,35$ mm. Die Einschweißtiefen, die damit erreicht wurden, liegen über den Werten der Doppelfokustechnik und nur knapp unterhalb der Einzelfokustechnik. Letzteres ist dadurch bedingt, dass der Abstand zwischen den einzelnen Spots bei der Quattrofaser konstruktiv bedingt noch zu groß ist, um den Wirkungsgrad der Einzelfokustechnik zu erreichen.

Weitere Vorteile der Fokusmatrixtechnologie offenbaren sich bei dem Vergleich der Schweißnahtqualität. Vor allem der „zielorientierte Vergleich“ bei gleicher geforderter Einschweißtiefe

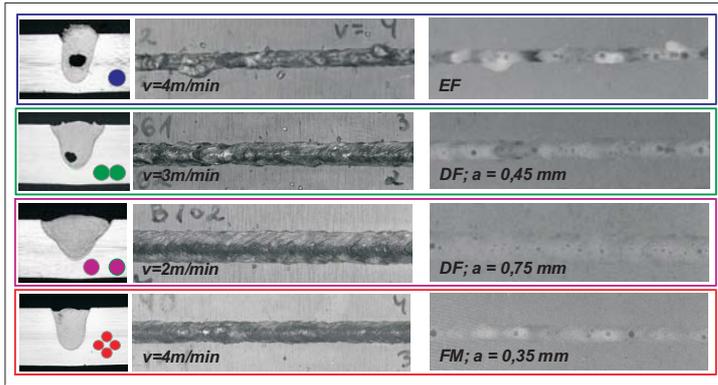


Abb. 2: Vergleich der Schweißnahtqualität bei 3 0,2 mm Einschweißtiefe. Aluminiumlegierung AA 6082 bei jeweils 4,0 kW Gesamtleistung und $f = 150$ mm, Schutzgas Argon 15l/min.

(siehe Abb. 2) zeigt die Vorteile der Fokusmatrix sehr deutlich: hohe Schweißgeschwindigkeiten bei guter Schweißnahtqualität.

dazu ist die Oberraupe der Fokusmatrix-Probe fehlerfrei und die Anzahl der Poren in der Schweißnaht gering. Die besten Ergebnisse bei dieser

mit Aluminium-Knetlegierung durchgeführt worden. Dabei wurde das 2 mm starke Druckgussbauteil (GD- $AlSi10MgMn$) mit einem 1,15 mm starken Blech der Legierungsgruppe AA 6xxx im Überlapp verschweißt. Die Schweißgeschwindigkeit wurde so eingestellt, dass eine sichere Durchschweißung gewährleistet ist.

Dargestellt ist in Abbildung 3 für jedes Verfahren jeweils ein Querschliff, ein Foto der Nahtoberraupe, sowie ein Röntgenbild der Schweißnaht. Um von gleichen Verunreinigungen des Gussteils ausgehen zu können, wurden alle Proben von exakt derselben Stelle des Bauteiles ent-

tungsgeschwindigkeiten zulässt mit einer geringeren Wasserstoffporosität verbunden.

Die höchste Schweißgeschwindigkeit wird mit dem Einzelfokus (EF) erreicht. Bei $v = 6,5$ m/min ist die Porosität sehr gering, der Schweißprozess ist hier jedoch unregelmäßig, die Prozessstabilität gering. Bei der Doppelfokustechnik (DF) ist je nach Fokusabstand eine sehr regelmäßige Nahtoberraupe zu erkennen. Die aufgrund niedriger Schweißgeschwindigkeit breitere Naht weist jedoch eine höhere Wasserstoffporosität auf. Ähnlich wie auch beim Schweißen der Aluminium-Knetlegierungen zeigt die Fokusmatrix (FM) gute Qualität bei gleichzeitig hoher Effizienz.

Herstellungsbedingt ist die Gushaut von dem auf Kohlenwasserstoffbasis aufgebauten Formtrennmittels verunreinigt. Diese Verunreinigungen setzen beim Schweißen Gase frei, die dann zu vermehrtem Porenvorkommen führt. Eine weitere Ursache jedoch ist die sich im Spalt befindliche Luft.

Auch hier zeigt Abbildung 4, dass eine hohe Geschwindigkeit zu einer geringeren Anzahl von Poren führt, wenn auch eine vollständige Vermeidung nicht möglich ist.

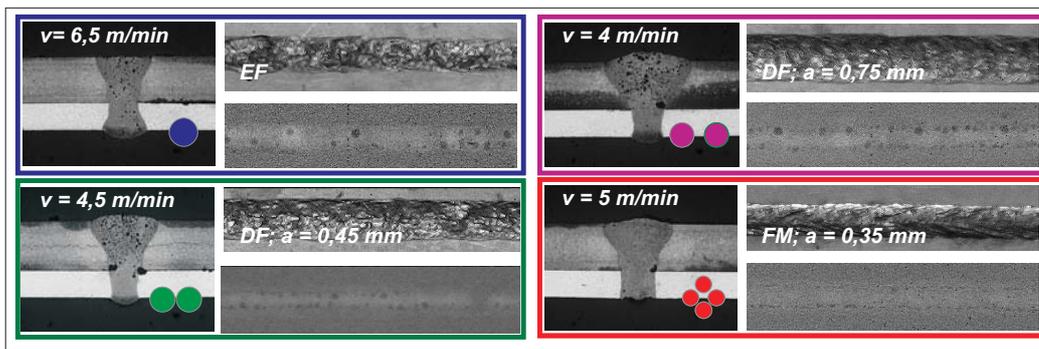


Abb. 3: Porosität beim Schweißen von Aluminium- Druckguss ($t = 2,0$ mm, oben) mit Alu-Blech ($t = 1,15$ mm, unten) bei verschiedenen Laserschweißverfahren. ($P_{gesamt} = 4,0$ KW).

Unter für alle Verfahren gleich gehaltenen Bedingungen zeigt die Fokusmatrix das beste Ergebnis. Die Geschwindigkeit liegt wie auch bei der EF-Technik bei 4 m/min. Das Schweißergebnis unterscheidet sich jedoch deutlich. Die Schweißnaht, welche mit der EF- Technik geschweißt wurde, hat eine unregelmäßige Oberraupe und ein Auswurf ist auf diesem Bild ebenfalls zu erkennen. Das Röntgenbild zeigt, dass im Inneren der Schweißnaht große Poren vorhanden sind. Im Gegensatz

Einschweißtiefe wurden mit der Doppelfokustechnik bei großem Fokusabstand produziert, die Schweißgeschwindigkeit war hier jedoch sehr gering (2 m/min). Die stark durch Wärmeleitung beeinflusste Querschnittsgeometrie hat eine wenig erwünschte V-Form angenommen.

Schweißen von Aluminium-Druckguss

Die in Abbildung 4 gezeigten Versuche mit *Aluminium-Druckgussbauteilen* sind analog zu den Schweißversuchen

nommen.

In den Querschliffen sind zwei Arten von Poren zu erkennen: fein über den Querschnitt verteilte Wasserstoffporen und Poren, die in erster Linie in der Ebene zwischen den beiden Fügepartnern zu finden sind. Die Querschliffe der gesamten Versuchsreihe zeigen, dass die Porosität (Flächenanteil der Poren an Nahtfläche) hauptsächlich von der Menge des aufgeschmolzenen Gussmaterials abhängt. Demnach ist ein effizienter Schweißprozess, der hohe Bearbei-

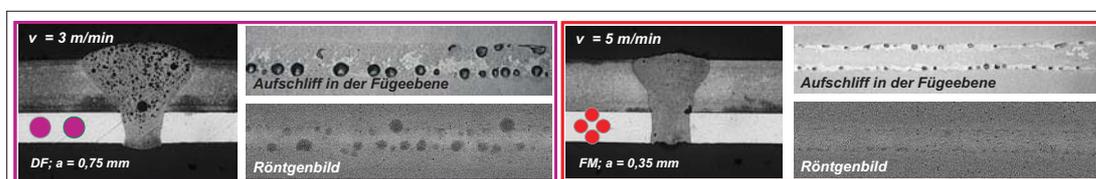


Abb. 4: Poren in der Fügeebene bei langsamer bzw. bei hoher Vorschubgeschwindigkeit.

Institutsadresse:
 Institut für Strahlwerkzeuge
 Pfaffenwaldring 43
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711-685 6840
 Fax: +49 (0)711-685 6842
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>

Kontakt / Redaktion:
 Dipl.-Ing. Friedemann Lichtner
 FGSW - Forschungsgesellschaft
 für Strahlwerkzeuge
 Nobelstr. 15
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711351 451-28
 Fax: +49 (0)711351 451-29
 E-Mail:
friedemann.lichtner@fgsw.de
<http://www.fgsw.de>