

Laserstrahlschweißen von S235JR im Unterdruck

Johannes Neuer, Yasin Tiryaki, Markus Hofele, Bahrudin Burzic, Harald Riegel

*LaserApplikationsZentrum, Hochschule Aalen

harald.riegel@hs-aalen.de

Das Laserstrahlschweißen von S235JR im Unterdruck (<200 mbar Absolutdruck) wurde untersucht. Ziel ist es, den Schweißprozess zu stabilisieren, sodass das Schweißergebnis positiv beeinflusst wird. Insbesondere kann für langsame Vorschubgeschwindigkeiten ein größeres Aspektverhältnis gegenüber Normaldruck erreicht werden, weiter kann Spritzerbildung reduziert werden.

1 Einführung

Eines der fest etablierten und in manchen Branchen nicht mehr wegzudenkenden Verfahren der Lasermaterialbearbeitung ist das Laserstrahlschweißen. Hauptgründe dafür sind die gute Automatisierbarkeit von Laserschweißprozessen und die hohe Schweißnahtqualität.

Die hohe Schweißnahtqualität beruht im Wesentlichen auf zwei Gründen. Zum einen kann ein hohes Aspektverhältnis – Verhältnis von Nahttiefe zu Nahtbreite – erreicht werden, zum anderen ist der Wärmeeintrag im Vergleich zu vielen anderen Schweißverfahren gering. Dadurch wird nur eine kleine Wärmeeinflusszone ausgebildet und der Verzug des Bauteils ist so gegenüber herkömmlichen Schweißverfahren reduziert [1].

Jedoch kann, je nach Anforderung an Oberflächenbeschaffenheit und Maßhaltigkeit, aufgrund von Spritzerbildung aber auch wegen Bauteilverzugs Nacharbeit notwendig sein, was Kosten verursacht.

2 Grundlagen

Das Laserstrahlschweißen wird in zwei Verfahren unterteilt, das Wärmeleitungsschweißen (WLS) und das Tiefschweißen (TS).

Wärmeleitungsschweißen

Beim WLS, schematisch in Abb. 1 (links) dargestellt, wird die Laserstrahlung an der Werkstückoberfläche absorbiert. Kennzeichnend für das Verfahren ist, dass die Wärme über Wärmeleitung in das Innere des Bauteils geführt wird. Die absorbierte Energie ist höher als die abgeführte, weshalb es zum Aufschmelzen des Werkstoffs an der Oberfläche kommt. Die Einschweißtiefe ist auf ca. 3 mm begrenzt. Charakteristisch sind Schweißnähte mit einem niedrigen Aspektverhältnis und glatter Oberfläche [1].

Tiefschweißen

Beim Tiefschweißen, das für die aufgeführten Ergebnisse relevant ist, wird die werkstoffspezifische Intensität überschritten, die notwendig ist, um das

Material zu verdampfen. Durch den Dampfdruck bildet sich im Schmelzbad eine Dampfkapillare aus, in Abb. 1 (rechts) rot dargestellt. Beim Tiefschweißen sind hohe Einschweißiefen bei hohen Aspektverhältnissen möglich.

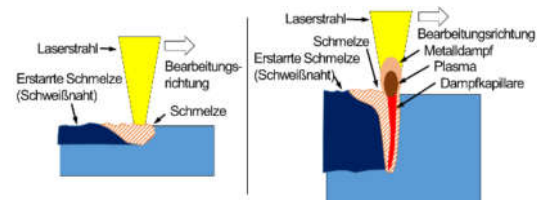


Abb. 1: Schematische Darstellung des Wärmeleitungsschweißens (links) und Tiefschweißens (rechts) nach [2]

3 Motivation

Da das Schweißergebnis beim Tiefschweißen maßgeblich durch die Stabilität der Dampfkapillare und den umgebenden Schmelzbadströmungen beeinflusst wird, sollen diese Verhältnisse durch Senken des Umgebungsdrucks so beeinflusst werden, dass die Einschweißtiefe, bei gleichzeitiger Reduzierung der Nahtbreite, durch verbessertes Ausströmverhalten des Dampfes erhöht und damit der Bauteilverzugs verringert wird. Spritzerbildung soll durch eine stabilisierte Dampfkapillare reduziert werden. Bei langsamen Vorschüben (ca. 0,3 m/min) und sehr geringem Druck (ca. 0,1 mbar) konnte der Effekt in [3] [4] bereits nachgewiesen werden.

4 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 2 skizziert.

Als Versuchsmaterial wurde ein unlegierter Baustahl S235JR nach DIN EN 10025-2 verwendet. Das Material ist schweißgeeignet.

Als Laserquelle wurde ein TruDisk 4002 der Firma Trumpf verwendet. Die Schweißoptik besitzt eine Brennweite $f = 300$ mm, der Fokusbereich $d_f = 300$ μ m.

In einer selbst entwickelten Prozesskammer wurde mit einer Vakuumpumpe ein Unterdruck <200 mbar (Absolutdruck) erzeugt. Die Zeit bis zum Erreichen

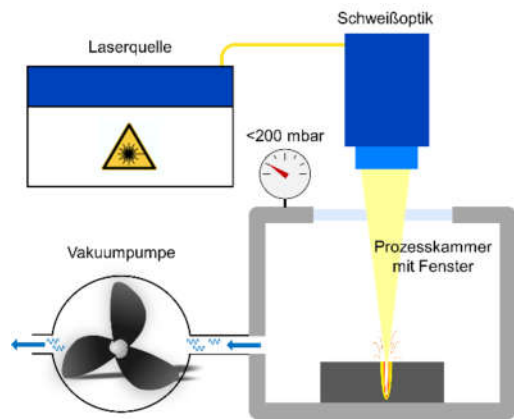


Abb. 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus des Drucks beträgt $< 6 \text{ s}$. Die Prozesskammer enthält ein Fenster, das für die Laserstrahlung transparent ist.

Es wurden die Parameter Vorschubgeschwindigkeit v_F zwischen 1 und 8 m/min in Schritten von 1 m/min variiert, die Fokusslage z_F zwischen 0 und -3 mm in 1 mm-Schritten. Die Laserleistung betrug jeweils 3000 W.

5 Ergebnisse

Einschweißtiefe

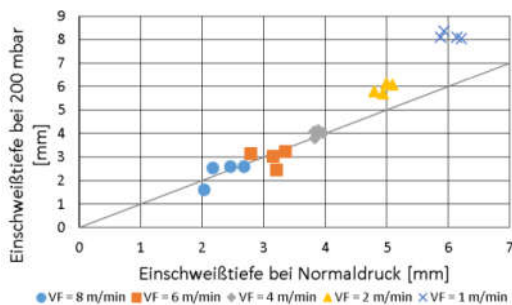


Abb. 3: Einschweißtiefe für S235JR bei Normaldruck und 200 mbar bei den Fokusslagen z_F 0, -1 -2, -3 mm

Für die Einschweißtiefe ist zu beobachten, dass sie bei einem Druck von 200 mbar, gleicher Laserleistung und Fokusslage mit langsamer werdendem Vorschub tendenziell gegenüber Schweißprozessen bei Normaldruck zunimmt. Dieser Sachverhalt ist Abb. 3 zu entnehmen. Gleichzeitig war zu beobachten, dass die Nahtbreite abnimmt.

Spritzerbildung

Abb.4 zeigt exemplarisch zwei Schweißnähte, die mit den gleichen Laserparametern geschweißt wurden, einmal bei Normaldruck (oben) und einmal bei 200 mbar (unten). Es ist zu erkennen, dass die Spritzerbildung im Unterdruck abnimmt.

6 Diskussion

Die beobachteten Effekte beruhen auf geänderten Schmelzbadströmungen durch den Unterdruck. Der verringerte Druck bewirkt, dass der Siedepunkt des

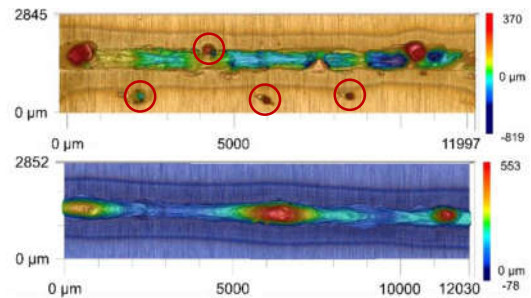


Abb. 4: Schweißnähte (Höhenprofil) mit einem Vorschub von 8 m/min, 3 kW Laserleistung und Fokusslage = 0 mm einmal bei Normaldruck (oben, Spritzer rot markiert) und bei 200 mbar (unten)

Baustahls massiv sinkt (um ca. 500 °K bei 200 mbar gegenüber Normaldruck) [3]. Dadurch wird bei gleichem Energieeintrag mehr Material verdampft, wodurch die Dampfkapillare größer und stabiler wird. Durch den verringerten Umgebungsdruck kann der Dampf besser ausströmen, was Verwirbelungen im Schmelzbad und somit auch Spritzer reduziert. Gleichzeitig kondensiert weniger Metall Dampf oberhalb der Kapillare aufgrund der höheren Ausströmgeschwindigkeit und der geringeren Dichte der Luft, was eine verlangsamte Abkühlung bewirkt. Das hat zur Folge, dass der Laserstrahl nicht durch kondensierte Metalltröpfchen absorbiert bzw. reflektiert wird und so der Kapillare mehr Leistung zugeführt wird [5]. Durch die Abnahme der Nahtbreite wird ebenfalls der Bauteilverzug reduziert, da die Querschnittsfläche, die temperaturinduzierte Spannung ins Bauteil einbringt, kleiner wird.

7 Fazit

Mit dem Absenken des Umgebungsdrucks kann das Schweißergebnis beim Laserstrahlschweißen hinsichtlich Einschweißtiefe, insbesondere bei langsamen Vorschubgeschwindigkeiten, Spritzerbildung und Verzug verbessert werden.

Quellen

- [1] J. Bliedner et al.: „Lasermaterialbearbeitung“, Fachbuchverlags Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, 2013
- [2] H. Riegel, E. Hering: „Laser in der Materialbearbeitung“, S. 450-470 in „Optik für Ingenieure und Naturwissenschaftler – Grundlagen und Anwendungen“, Herausgeber E. Hering, Carl Hanser Verlag, München 2017
- [3] N. Holtum et al.: „Laserstrahlschweißen im Vakuum an unlegierten Baustählen und Duplexstählen“ in Schweißen und Schneiden, Ausgabe 68, S. 716-722, 2016
- [4] S. Katayama et al.: „Deep Penetration Welding with High-Power Laser under Vacuum“ in Transactions of JWRI, Ausgabe 40, S. 15-19, 2011
- [5] U. Reisgen et al.: „Laser beam welding under vacuum of high grade materials“ in Weld World, Ausgabe 60, S. 403-413, 2016