

Laserstrahlschweißen von Kupfer - Viel hilft viel

Im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens "ZeSAR" wurden spritzerreduzierte bis spritzerfreie Schweißnähte in reinem Kupfer (Cu-ETP) erstellt. Grundlage dazu waren detaillierte Untersuchungen der Entstehungsmechanismen von Spritzern und Schmelzauswürfen. Daraus wurden Methoden zur Reduktion von Spritzern entwickelt und umgesetzt. Mit dem Einsatz eines TruDisk 16002 Hochleistungslasers mit Leistungen bis zu 16 kW konnten Schweißnähte mit Einschweißtiefen von >8 mm ohne Schmelzauswürfe erzeugt werden. Als wichtigstes Ergebnis dieser Untersuchungen konnte eine klare Grenze identifiziert werden, oberhalb welcher qualitativ hochwertige Schweißnähte entstehen: Die deutliche Abgrenzung zwischen minderwertigen und hochwertigen Schweißnähten liegt bei einem Verhältnis von Leistung zu Einschweißtiefe von 2 kW/mm.

Mit der Weiterentwicklung der Laserstrahlquellen zu besseren Strahlqualitäten bei höheren Leistungen und gleichzeitig sinkenden Kosten, ist es heutzutage auch möglich, hochreflektierende Werkstoffe wie Kupfer im Dauerstrichbetrieb zu schweißen. Kupfer und Kupferlegierungen erfahren aufgrund ihrer besonderen Materialeigenschaften, wie einer hohen elektrischen Leitfähigkeit und einer hohen Wärmeleitfähigkeit, derzeit einen zunehmenden Bedarf für den industriellen Einsatz. Allerdings sind Schweißungen in diesen Werkstoffen bei geringen Bearbeitungsgeschwindigkeiten <10 m/min, welche für große Einschweißtiefen >1 mm in den meisten Fällen unumgänglich sind, durch das vermehrte Auftreten von Spritzern und Schmelzauswürfen gekennzeichnet [1,2]. Diese führen vor allem im genannten Geschwindigkeitsbereich zu Löchern in der Schweißnaht und bringen eine ungleichmäßige Nahtoberfläche, sowie einen reduzierten Anbindequerschnitt mit sich. Aus diesem Grund ist das Vermeiden von Spritzern und Schmelzauswürfen eine der großen Herausforderungen beim Laserschweißen von Kupfer.

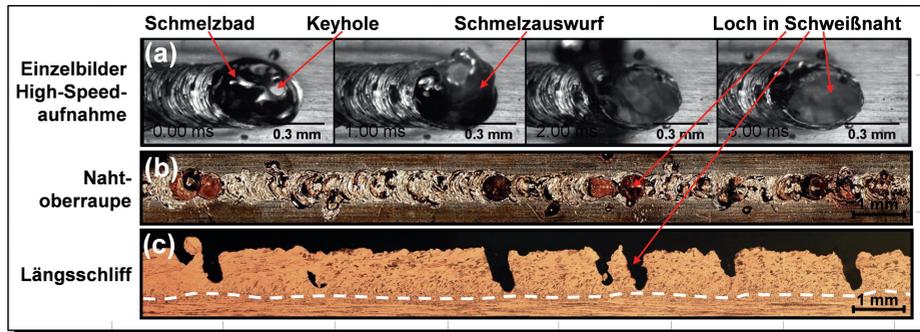


Abb. 1: Darstellung eines Schmelzauswurfs in reinem Kupfer (Cu-ETP). (a) Bilderfolge einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme eines Schmelzauswurfs; (b) Nahtoberfläche; (c) zugehöriger Längsschliff. Cu-ETP, P = 1,5 kW, v = 6 m/min, df = 100 µm.

In Abbildung 1 ist eine typische Schweißung in reinem Kupfer dargestellt. Bild (a) zeigt eine Bilderreihe einer Hochgeschwindigkeitsaufnahme eines Schmelzauswurfs während einer Schweißung. Dabei entstehen Löcher in der Schweißnaht (Bild (b) Aufsicht auf die geschweißte Probe mit Nahtdefekten), welche sich über die gesamte Einschweißtiefe erstrecken können, wie in Bild (c) (Längsschliff der Probe) zu erkennen ist. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die Einschweißtiefe.

Hohe Leistung – wenig Nahtdefekte?

Im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens "ZeSAR" (17.625) wurde unter anderem der Einfluss der Laserleistung auf die Spritzerbildung beim Schweißen von Kupfer untersucht. Hierbei hat sich herausgestellt, dass die Spritzerbildung durch den Einsatz hoher Laserleistungen >5 kW stark reduziert werden kann. Durch die Verwendung eines TruDisk 16002 Lasers mit einer maximalen Ausgangsleistung von 16 kW konnten Kupferschweißungen mit Einschweißtiefen von bis zu 9 mm ohne Schmelzauswürfe erzeugt werden. In Abbildung 2 ist das

Schliffbild einer solchen nahezu perfekten Schweißung in reinem Kupfer mit einer Leistung von 16 kW und einer Schweißgeschwindigkeit von 2 m/min dargestellt.

Für die hier vorgestellten Untersuchungen wurden zwei Scheibenlaser verwendet, zum einen ein TruDisk 5001 und zum anderen ein TruDisk 16002. Alle Untersuchungen wurden in reinem Kupfer (Cu-ETP) mit Fokusdurchmessern von 100 µm oder 200 µm durchgeführt. Für jede der Schweißungen dieser Versuchsreihe wurde der thermische Wirkungsgrad bestimmt. Der thermische Wirkungsgrad berechnet sich als Verhältnis zwischen der zum Aufschmelzen des Schweißnahtvolumens benötigten Energie und der Energie, welche in das Bauteil eingekoppelt wird [3, 4]. In Abbildung 3 sind die thermischen Wirkungsgrade als Funktion der Leistung pro Einschweißtiefe aufgetragen.

Die Beurteilung der Qualität der Schweißnähte erfolgt über eine Einteilung in „hochwertig“ und „minderwertig“. Schweißnähte ohne Schmelzauswürfe, ohne anhaftende kleine Spritzer und einer homogenen Nahtoberfläche

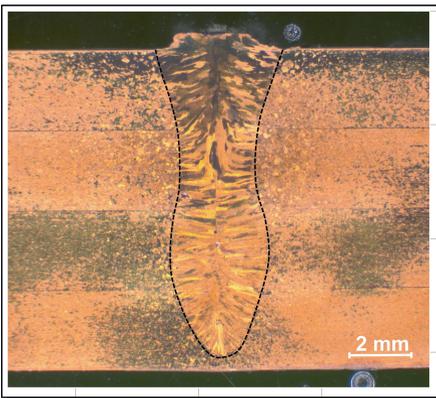


Abb. 2: Schliffbild. Cu-ETP, P = 16 kW, v = 2 m/min, df = 200 µm.

werden als „qualitativ hochwertig“ (grün) bezeichnet, wohingegen Schweißnähte mit mehr als einem Schmelzauswurf pro 100 mm Schweißnahtlänge, oder anhaftenden kleinen Spritzern, oder einer unregelmäßigen Nahtberraupe als „qualitativ minderwertig“ (rot) bezeichnet werden.

Genügend Leistung pro Einschweißtiefe – wenig Nahtdefekte!

Es konnte eine deutliche Abgrenzung der hochwertigen zu minderwertigen Schweißungen ermittelt werden. Oberhalb eines thermischen Wirkungsgrads von 35% konnten alle Schweißungen als qualitativ hochwertig bewertet werden. Eine hochwertige Schweißnaht kann demnach oberhalb einem Leistung-pro-Einschweißtiefe-Verhältnis von ca. 2 kW/mm erreicht werden, wobei der thermische Wirkungsgrad eher eine Auswirkung als die Ursache für die Abgrenzung zwischen hochwertigen und minderwertigen Schweißnähten ist und noch weiterer Untersuchungen bedarf.

Eine anwenderfreundliche Darstellung bietet die Grafik in Abbildung 4. Hier sind die Schweißergebnisse in Kupfer bei unterschiedlichen Schweißgeschwindigkeiten als Funktion der Laserleistung (mit logarithmischen Skalen) aufgetragen. Auch in dieser Darstellung zeigt sich die klare Abgrenzung zwischen hochwertigen (grün) und minderwertigen (rot) Schweißnähten. Weiterhin sind die jeweiligen Einschweißiefen den einzelnen Datenpunkten zugeordnet. Blau markiert sind die Bereiche, in welchen nur noch Wärmeleitungsschweißen

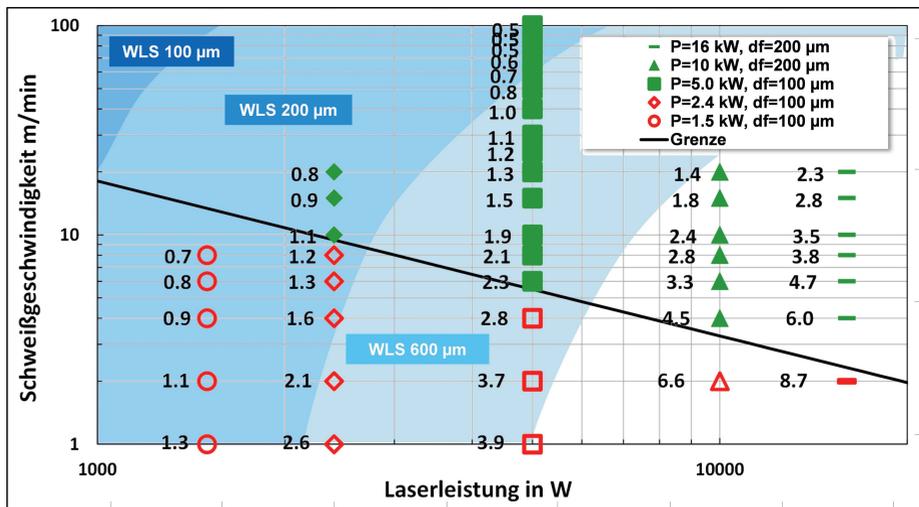


Abb. 4: Abgrenzung zwischen hochwertigen (grün) und minderwertigen (rot) Schweißungen in reinem Kupfer (Cu-ETP) bei unterschiedlichen Schweißgeschwindigkeiten und Leistungen.

(WLS) für die unterschiedlichen Fokussdurchmesser erreicht wird.

Die hier dargestellten Ergebnisse aus den grundlegenden Untersuchungen beim Schweißen zeigen, wie in Kupfer qualitativ hochwertige Schweißnähte erzeugt werden können. Als Grenzwert für diese qualitativ hochwertigen Schweißnähte konnte ein Wert von > 2 kW pro Millimeter Einschweißtiefe ermittelt werden.

Literatur

- [1] Heider, A., u. a.: Process Stabilization at welding Copper by Laser Power Modulation. Phys. Proc. 12 A (2011) 81-87
- [2] Petring, D., u. Goneghany, V.: Learning more about laser beam welding by applying it to copper and copper alloys. Proc. of 29th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics ICALEO, USA, Anaheim, CA. 2010

[3] Hügel, H., u. Graf, T.: Laser in der Fertigung 3te Auflage (Wiesbaden: Springer) 2014

[4] Swift-Hook, D., u. a.: Penetration welding with lasers Welding Research Supplement 493-s, 1973, S. 492, 1973

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 17.625 N/1 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS, Aachenerstraße 172, 40223 Düsseldorf wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

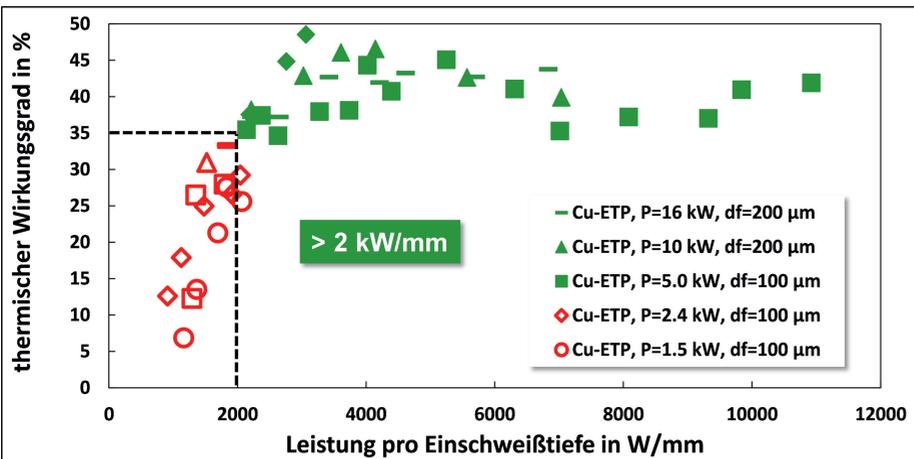


Abb. 3: Thermischer Wirkungsgrad als Funktion der Leistung pro Tiefe für unterschiedliche Schweißgeschwindigkeiten.

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Autoren / Kontakt:

Andreas Heider, Peter Stritt, Rudolf Weber und Thomas Graf
Institut für Strahlwerkzeuge, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 43
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685 69730
Fax: +49 (0)711 685 66842
E-Mail: andreas.heider@ifsw.uni-stuttgart.de