

Teilprojekt A1

Titel

Steuerung von Geometrie und Metallurgie beim Laserstrahl-Mikroschweißen durch Beeinflussung der Schmelzbaddynamik über örtlich und zeitlich angepassten Energieeintrag

Projektleitung/-bearbeitung

Projektleitung: Dr.-Ing. Gillner, Arnold

Projektbearbeitung: Hummel, Marc; Küpper, Moritz

Lehrstuhl für Lasertechnik (LLT), RWTH Aachen University

Aufgabenstellung

Ziel in Phase 2 des Teilprojektes ist die Beeinflussung der in Phase 1 ermittelten präzisionsbestimmenden Faktoren beim Laserstrahl-Mikroschweißen. Dadurch wird angestrebt, eine Erhöhung der Schweißnahtpräzision bzgl. geometrischer Eigenschaften (Einschweißtiefenkonstanz $\leq 1\%$, Schweißtiefenkontrolle $\leq 5\ \mu\text{m}$) und funktionale Qualität (Rauheit $R_z \leq 10\ \mu\text{m}$, Porosität $\leq 5\%$) zu erreichen.

Der Hauptschwerpunkt der ersten Phase im SFB 1120 lag auf der Untersuchung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen und der detaillierten Untersuchung des Einkoppelgrades beim Laserstrahl-Schweißprozess.

Im weiteren Verlauf des Projektes werden diese bereits entwickelten Analysemethoden genutzt, um die entsprechenden Dynamiken der Dampfkapillare, der Schmelze und der Erstarrung zu visualisieren. Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Untersuchung zum Einfluss der Bearbeitungswellenlänge auf den Schweißprozess.

Außerdem wurde begonnen, die grundlegenden Einflüsse eines Laserstrahl-Polierprozesses auf die Schweißnaht und Materialeigenschaften zu untersuchen um Anhaltspunkte für einen kombinierten Laserstrahl-Mikroschweiß und Polierprozess zu gewinnen.

Mit der neu in Betrieb genommenen grünen 515 nm Laserstrahlquelle wurde die Eignung dieser Bearbeitungswellenlänge für das Laserpolieren von Kupfer und Kupferlegierungen, sowohl auf unbearbeiteten Oberflächen als auch auf Laserstrahlschweißnähten, untersucht.

Vorgehensweise

Da noch keine Erfahrungswerte zum Laserpolieren von Kupfer und Kupferlegierungen mit sichtbarer Laserstrahlung vorliegen wurden zunächst Untersuchungen an einzelnen Umschmelzspuren mit einem größeren Prozessparameterraum durchgeführt. Dabei wurden zwei Laserstrahldurchmesser, drei Sangeschwindigkeiten (im Bereich der Laserschweißgeschwindigkeit, da ein synchroner Prozess angestrebt wird) und eine breite Spanne an Laserleistungen von der ersten Umschmelzung bis zu deutlicher Verdampfung sowohl auf Reinkupfer Cu-ETP als auch der Kupferlegierung CuSn6 untersucht.

Eine Auswahl an geeigneten Parametern wurde anschließend zum flächigen Laserpolieren von unbearbeiteten Oberflächen verwendet und schließlich die gleichmäßigsten Polierergebnisse auf Schweißnähten angewendet. Dabei konnte an diesem Aufbau nur die asynchrone d.h. sequentielle Laserpolitur von Schweißnähten untersucht werden. In einem ersten Schritt wurde mit hoher Leistung eine Schweißnaht erzeugt und anschließend mit geringerer Leistung mit demselben Laser die Schweißnaht zum Polieren erneut aufgeschmolzen. Dabei wurden mehrere Polierbahnen überlagert, um die breitere Schweißnaht vollständig umzuschmelzen. Die Untersuchungen fanden alle ohne Schutzgas unter normaler Atmosphäre statt, da ein mit dem Laserschweißen synchroner Prozess angestrebt wird und dieses kein Schutzgas benötigt.

Außerdem wurde die in Bild 1 dargestellte Dual-Beam-Optik konstruiert und in Betrieb genommen. Diese erlaubt die Überlagerung und somit synchrone Laserbearbeitung von einem kleinen Infrarotlaserspot mit einem großen blauen Laserspot des Ende 2019 integrierten 1 kW Diodenlasers von Laserline. Der

blaue Laser kann in Zukunft sowohl zur Unterstützung des infraroten Lasers beim Schweißen als auch zum Laserpolieren verwendet werden.

- 1) Faser Nuburu
- 2) Faser IPG
- 3) Kollimation Nuburu
- 4) Kollimation IPG
- 5) Modulare Strahlformung
- 6) Strahlauslenkung
- 7) Strahlzusammenführung
- 8) Fokussieroptik
- 9) Probenschlitten

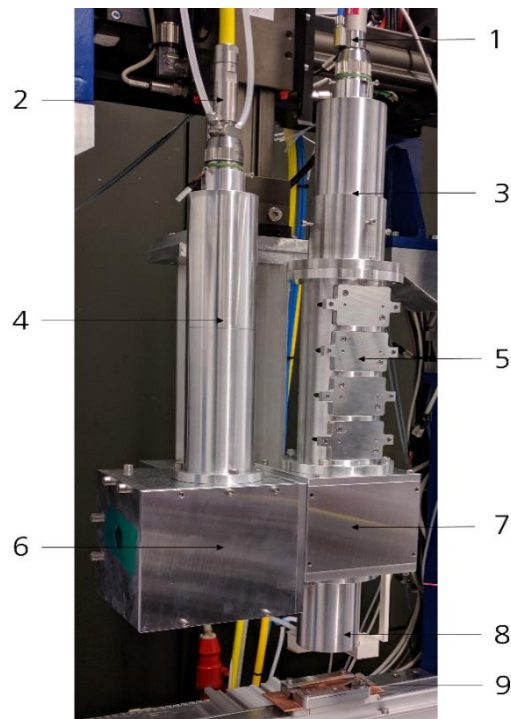


Bild 1: Selbst entwickelte und konstruierte Dual-Beam-Optik zur Überlagerung infraroter und blauer Laserstrahlung

Die beiden Laserstrahlen werden dabei mittels eines kippbaren Dichroiden vereinigt und können dadurch in der relativen Position zueinander auf der Materialoberfläche ausgerichtet werden.

Ergebnisse

Die Untersuchungen ergeben, dass mit grüner 515 nm Laserstrahlung im Gegensatz zu infraroter Laserstrahlung gleichmäßige, für das Laserpolieren geeignete, Umschmelzspuren auf Cu-ETP und CuSn6 erzeugt werden können. In Bild 2 ist die ermittelte Abhängigkeit der Umschmelzspurbreite von der Laserleistung für die beiden untersuchten Strahldurchmesser und Werkstoffe dargestellt. Die dargestellte Leistungsspanne um-

fasst die Laserleistung ab der eine gleichmäßige Umschmelzung auftritt bis zum sichtbaren Beginn von Verdampfung. Bei gleichen Parametern sind die Umschmelzungen auf Cu-ETP deutlich schmaler als auf CuSn6. Dies ist vor allem auf die vielfach größere Wärmeleitfähigkeit von Reinkupfer zurückzuführen.

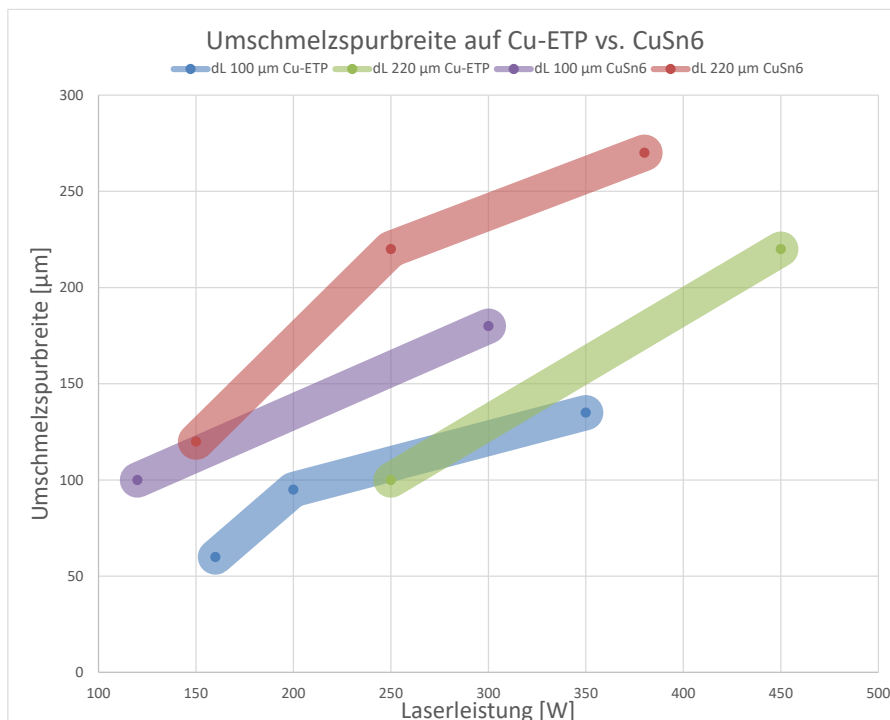


Bild 2: Graphische Darstellung der gemessenen Umschmelzspurbreite in Abhängigkeit der eingesetzten Laserleistung jeweils für Laserstrahldurchmesser 100 µm und 220 µm auf Cu-ETP und CuSn6 (Gemittelt über mehrere Scangeschwindigkeiten. Balkenbreite entspricht Schwankungsbreite).

Die besten flächigen Laserpolierergebnisse wurden mit dem größeren Laserstrahldurchmesser $d_L = 220 \mu\text{m}$, mittlerer Scangeschwindigkeit $v_S = 100 \text{ mm/s}$, Spurversatz $d_y = 50 \mu\text{m}$ und Laserleistungen nahe der Verdampfungsgrenze für das jeweilige Material erzielt. Dabei konnte auf unbearbeiteten Oberflächen die geringe Ausgangsrauheit von $R_a = 0,3 \mu\text{m}$ nicht weiter gesenkt werden. Die besten Rauheiten nach dem Laserpolieren lagen bei $R_a = 0,4 \mu\text{m}$.

Auf Lasermikroschweißnähten hingegen konnte die deutlich größere Ausgangsrauheit ca. um den Faktor zwei gesenkt werden (vergleiche Bild 3 und 4). Auf Cu-ETP konnte eine größere

Glättung erzielt werden und die durch Schmelzspritzer verursachten starken Rauheitsspitzen und Täler gut ausgeglichen

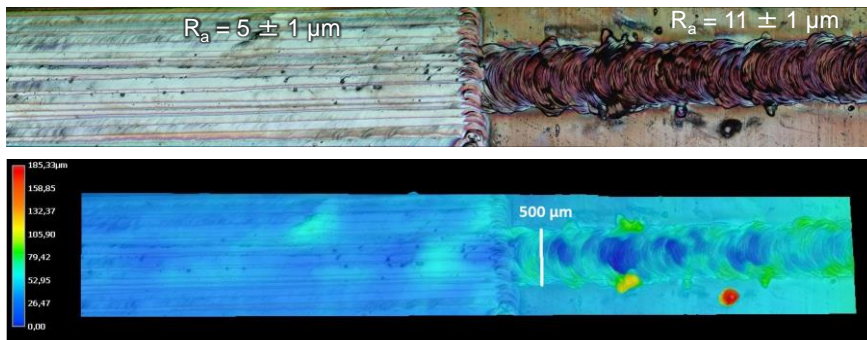


Bild 3: Mikroskopaufnahme (oben) und Falschfarbendarstellung der Oberflächentopographie (unten) einer Lasermikroschweißnaht vor (rechts) und nach (links) dem Laserpolieren auf Cu-ETP.

werden.

Auf CuSn6 hingegen fällt die Glättung etwas geringer aus, da die Schweißnaht bereits weniger Rau ist. Schmelzspritzer werden auch hier gut geglättet dafür ist die deutliche Überhöhung der Schweißnaht auch nach dem Laserpolieren noch zu erkennen. Um auch noch diese Struktur zu glätten müsste das Laserpolierschmelzbad wesentlich breiter als die Schweißnaht sein, um das Material umverteilen zu können.

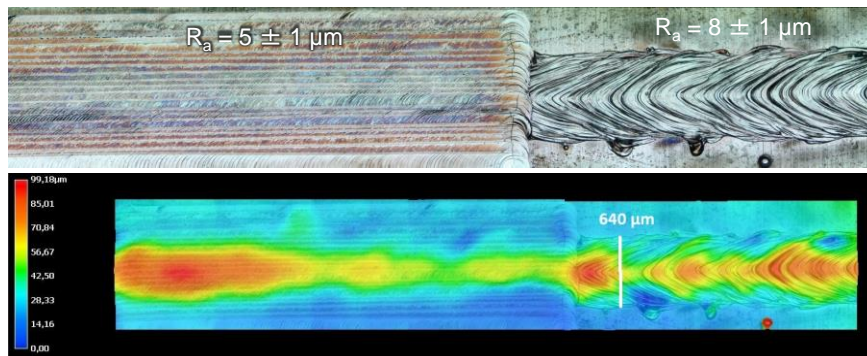


Bild 4: Mikroskopaufnahme (oben) und Falschfarbendarstellung der Oberflächentopographie (unten) einer Lasermikroschweißnaht vor (rechts) und nach (links) dem Laserpolieren auf CuSn6.

Dieses geeigneteres Größenverhältnis konnte an dem zur Verfügung stehenden einfachen Versuchsaufbau nicht realisiert werden. In Zukunft wird die neu entwickelte Dual-Beam-Optik solche Versuche ermöglichen, da sie einen großen blauen Laser-spot mit einem wesentlich kleineren infraroten Laserspot überlagert.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Jahr 2019 wurde eine neuartige Laserstrahl-Optik entwickelt und aufgebaut, die die Kombination zweier Laserstrahlen mit 1070 nm und 450 nm erlaubt. Dadurch können die Vorteile beider Wellenlängen kombiniert werden und neuartige Anwendungen in der Bearbeitung von Kupferwerkstoffen untersucht werden.

Des Weiteren hat die Verwendung einer Laserstrahlquelle mit 515 nm Wellenlänge gezeigt, dass damit das Polieren von Kupfer im Vergleich zu Strahlquellen im infraroten Wellenlängenbereich möglich ist. Dabei besteht die Möglichkeit, mit Leistungen von 120-450 W das Kupfermaterial aufzuschmelzen und das Material umverteilen. Dadurch kann die Nahtoberflächenrauheit der Schweißnaht nachträglich reduziert werden.

Im weiteren Verlauf von 2020 wird außerdem die Dual-Beam-Optik eingehend untersucht. Dabei wird ermittelt wie sich die beiden Laserstrahlen sowohl im Schweißprozess als auch im Polierprozess beeinflussen. Ziel ist dabei die Oberflächenrauheit der Schweißnaht zu reduzieren.

Veröffentlichungen