

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 (Einschweißstiefenkonstanz $\leq 1\%$, Schweißstiefenkontrolle $\leq 5\ \mu\text{m}$) 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.

Vorgehensweise

Der in Phase 1 des SFB1120 entwickelte Versuchsaufbau mittels zweier Ulbricht-Kugeln wird auch weiterhin verwendet um präzise örtlich und zeitlich aufgelöste Messungen des Einkoppelgrades zu realisieren. Bei der Anwendung der örtlichen Leistungsmodulation auf den Schweißprozess wird außerdem ermittelt, welchen Einfluss die sich örtlich ändernde Bahngeschwindigkeit auf den Einkoppelgrad hat. Mit einer zeitlichen Anpassung der Laserleistung kann daraufhin die Schwankung im Einkoppelgrad kompensiert werden.

Zusätzlich zum Einsatz von örtlicher und zeitlicher Leistungsmodulation werden Laserstrahlquellen im sichtbaren Wellenlängenbereich eingesetzt. Dazu wurden am Lehrstuhl für Lasertechnik zwei neuartige Laserstrahlquellen mit einer Bearbeitungswellenlänge von 515 nm und 450 nm in Betrieb genommen und in die bestehenden Versuchsstände integriert. Der auf Grund der kürzeren Wellenlänge erhöhte Absorptionsgrad im Schweißprozess wird genutzt, um eine Erhöhung der Schweißnahtpräzision und Prozesseffizienz zu erlangen.

Zusätzlich zu dem herkömmlichen Schweißprozess werden Untersuchungen zum zusätzlichen Laserstrahlpolierprozess durchgeführt. Dabei wird untersucht, welchen Einfluss der Polierprozess auf die Eigenschaften der Schweißnaht hat, um daraus Parameterkombinationen zu erzeugen, die später bei der Entwicklung eines kombinierten Prozesses eingesetzt werden können.

Ergebnisse

Die Messung des Einkoppelgrades in Abhängigkeit der örtlichen Leistungsmodulation hat gezeigt, dass der Einkoppelgrad über die örtliche Bahnbewegung um bis zu $\pm 9\%$ schwankt. (Bild 1)

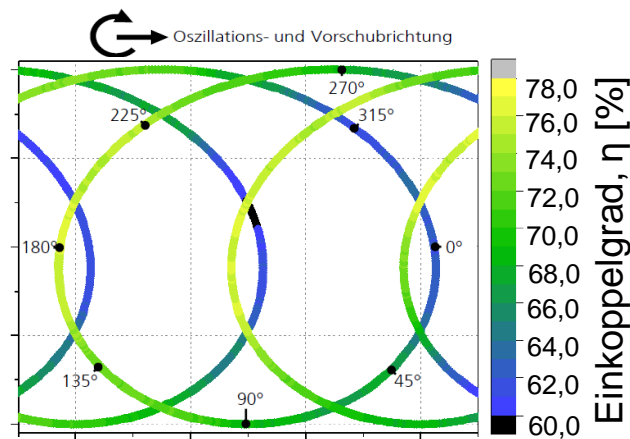


Bild 1: Veränderung des Einkoppelgrads durch die örtliche Leistungsmodulation

Mittels einer gegensätzlichen, sinusförmigen Überlagerung der Leistungsmodulation wurde erreicht, dass die Schwankungen im Einkoppelgrad auf $\pm 2\%$ gesenkt wurden. Dies hat zur Auswirkung, dass die Neigung der Schweißnaht im Querschleiff verringert wird und somit die Einschweißstiefenkonstanz erhöht ist.

Die Ergebnisse zur Untersuchung des Wellenlängeneinflusses auf den Einkoppelgrad zeigt eine Steigerung des Einkoppelgrads von 70-80% bei 1064 nm auf 85-95% bei 515 nm auf CuSn6 in Abhängigkeit der Laserparameter. Zusätzlich zur absoluten Steigerung des Einkoppelgrades um bis zu 25%-Punkte wird eine Verringerung der Schwankungen beim herkömmlichen Laserstrahlschweißprozess ohne örtliche Leistungsmodulation von $\pm 4\%$ auf wenige $\pm 0,1\%$ ersichtlich. Diese Verringerung der Schwankungen sorgt für eine konstantere Energieeinkopplung und somit für einen stabileren Schweißprozess.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Kombination aus örtlicher und zeitlicher Leistungsmodulation sowie die erhöhte Energieeinbringung durch eine kürzere Bearbeitungswellenlänge wird in zukünftigen Untersuchungen genutzt um den Energieeintrag in den Prozess noch weiter zu stabilisieren und die Effizienz der Prozesse zu erhöhen. Außerdem werden in Zusammenarbeit mit dem IFSW der Universität Stuttgart in situ Untersuchungen durchgeführt um den Einfluss der Bearbeitungswellenlänge auf die Keyhole-Dynamik und die Keyhole-Geometrie zu untersuchen.

Im Q4/2019 wird außerdem eine weitere Laserstrahlquelle mit einer Bearbeitungswellenlänge von 450 nm und einer Ausgangsleistung von 1 kW in Betrieb genommen. Diese Laserstrahlquelle erlaubt detailliertere Untersuchungen zum Einfluss der Wellenlänge sowie die Benutzung für das Laserstrahlpolieren von Kupferwerkstoffen. Die dabei gewonnenen Ergebnisse werden genutzt, um einen kombinierten Schweiß- und Polierprozess im Anschluss daran zu entwickeln. Dieser Prozess erlaubt das simultane Schweißen und Polieren zur Generierung von Schweißnähten mit hoher Präzision in der Oberflächenbeschaffenheit.

Veröffentlichungen

Im Jahr 2018 wurde eine peer review Veröffentlichung erstellt:

A. Aretz, L. Ehle, A. Haeusler, K. Bobzin, M. Öte, S. Wiesner, A. Schmidt, A. Gillner, R. Poprawe, J. Mayer, In situ investigation of production processes in a large chamber scanning electron microscope, Ultramicroscopy, Volume 193, 2018, Pages 151-158, ISSN 0304-3991;

Kooperationspartner: A2, A5, A6, A8