

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 (Einschweißiefenkonstanz $\leq 1\%$, Schweißiefenkontrolle $\leq 5\ \mu\text{m}$) 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.

Vorgehensweise

Die für den SFB1120 TP A1 angesetzten und geplanten Experimente am Deutschen-Elektronen-Synchrotron wurden zwischen dem 1. und 7. Oktober 2020 durchgeführt. Es wurde

ein Versuchsaufbau aufgebaut, um in-situ-Laserstrahl-Mikroschweißuntersuchungen mit Synchrotronstrahlung durchzuführen. Dazu wurde die Hochenergie-Strahllinie P7 von Petra 3 bei DESY mit der zugehörigen Experimentierhütte EH4 zur Realisierung des Aufbaus genutzt.

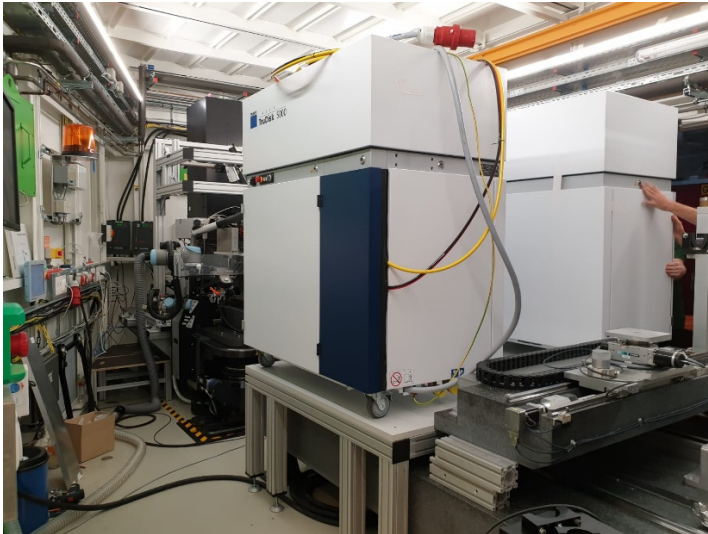
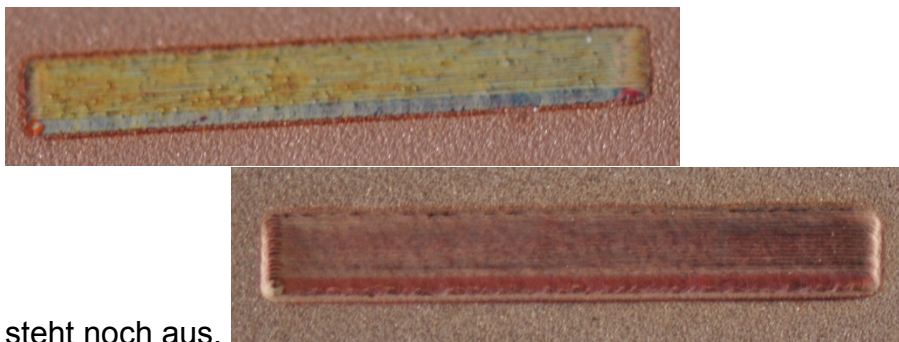


Bild 1: Experimenteller Aufbau an Beamline 7, Petra 3 des Deutschen-Elektronen Synchrotrons in Hamburg

Ein "Plug-and-Play"-Versuchsaufbau für die Laserbearbeitung wurde im Vorfeld entworfen, um einen effizienten Aufbau während der Strahlzeit zu ermöglichen. Der Aufbau wurde innerhalb eines Tages implementiert. Der Aufbau bestand aus drei Laserstrahlquellen, einem optischen Aufbau zur Fokussierung des Laserstrahls und einer Hochgeschwindigkeitsachse, die das Material durch den Schnittbereich von Laserstrahl und Synchrotronstrahl bewegte. Damit war eine automatisierte Durchführung der Laserstrahlschweißexperimente möglich.

Wir führten unsere Experimente mit drei verschiedenen Laserwellenlängen (515 nm, 1030 nm und 1070 nm) auf Kupfer durch, wie zuvor vorgeschlagen. Zusätzlich konnten wir die gleichen Laserschweißverfahren an Edelstahl und Aluminium untersuchen. Mit den beiden zusätzlichen Materialien lässt sich auch der Einfluss einer veränderten Wärmeleitfähigkeit und Absorption des Materials auf den Laserschweißprozess beobachten.

Zum Thema Laserpolieren von Lasermikroschweißnähten wurden grundlegende Untersuchungen mit dem neu verfügbaren blauen Diodenlaser von Laserline (kontinuierliche Laserstrahlung mit 450 nm Wellenlänge und bis zu 1000 W Laserleistung) zum Umschmelzverhalten von Reinkupfer (Cu-ETP) und einer gebräuchlichen Kupfer-Zinn-Legierung (CuSn6) begonnen. Diese ergänzen die früheren Untersuchungen mit grüner Laserstrahlung auf den gleichen Materialien. Da größere Laserleistungen zur Verfügung stehen, werden größere Laserstrahldurchmesser von 300 und 400 μm untersucht. Es konnten laserpolierte Flächen mit deutlicher Glättung erzeugt werden (Bild 2). Die quantitative Auswertung der Ergebnisse



steht noch aus.

Bild 2: Makroaufnahme einer mittels blauer 450 nm Laserstrahlung polierten Fläche auf Cu-ETP (oben) und CuSn6 (unten) [Versuchsfeld 10 x 2 mm²]

Ergebnisse

Die Synchrotronstrahlintensität war für Aluminium ausreichend hoch, wie in Bild 3 dargestellt. Der Phasenkontrast zwischen Fest-Flüssig- und Flüssig-Gas-Phasengrenzen ist bei 1 kHz sichtbar. Das Rauschen im Bild ist jedoch hoch und der Kontrast zwischen den Phasen ist gering, was die automatisierte Auswertung der Daten erschwert. Bei Edelstahl- und Kupferwerkstoffen reichte die Synchrotronstrahlintensität nicht aus, um eine Phasenkontrast-Bildgebung zu ermöglichen. Es wurde nur eine geringe Sichtbarkeit der Dampfkapillare ohne Phasengrenzen und Schmelze erreicht.

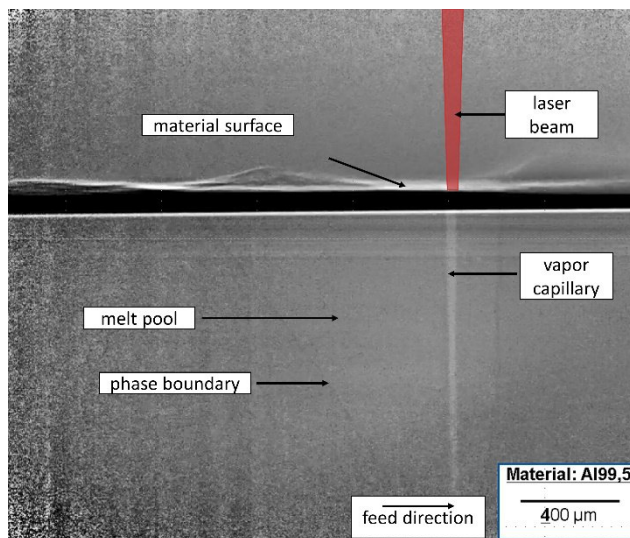


Bild 3: In situ Aufnahme eines Laserstrahl-Schweißprozesses von Aluminium mit 1 kHz Bildwiederholungsrate

Zusammenfassung und Ausblick

In zukünftigen Experimenten an der Petra 3 Beamline 7 muss der Fokus auf die Erzeugung eines Phasenkontrastes bei der Verwendung von Kupfermaterial im Laserschweißprozess gelegt werden. Die Untersuchungen sollten sich auch auf die Optimierung des Aufbaus konzentrieren, um sowohl die zeitliche Auflösung bis 10-20 kHz zu erhöhen, als auch das Signal-Rausch-Verhältnis zu reduzieren, um eine höhere Zuverlässigkeit der erfassten Bilddaten zu erreichen. Diese Optimierungen können durch die folgenden Schritte erreicht werden. Eine Optimierung der Synchrotron-Energie, um die Transmission durch das Probenmaterial zu erhöhen und den Photonenfluss zu steigern. Eine Optimierung zur Verringerung der zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Intensität des Synchrotronstrahls. Verwendung einer empfindlicheren Kamera, um das Sensorsignal zu erhöhen. Ein vergrößerter Abstand zwischen Materialprobe und Szintillator, um den Effekt des Phasenkontrasts zu verstärken. Ein optimierter Szintillator, um die Lichtleistung zu erhöhen.

In zukünftigen Experimenten wird die eigens entwickelte Dual-Beam-Optik verwendet, um infrarotlasergeschweißte Mikroschweißnähte sequentiell bzw. simultan mittels blauer Laserstrahlung nachzupolieren. Der kombinierte Prozess wird

zusätzlich mittels Hochgeschwindigkeitsvideographie untersucht.

Veröffentlichungen

S. Hollatz, M. Hummel, L. Jaklen, W. Lipnicki, A. Olowinsky, A. Gillner, Processing of Keyhole Depth Measurement Data during Laser Beam Micro Welding, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications 234 (2020) 722–731.

<https://doi.org/10.1177/1464420720916759>.

M. Hummel, A. Häusler, A. Olowinsky, A. Gillner, R. Poprawe, Comparing 1070 nm and 515 nm Wavelength Laser Beam Sources in Terms of Efficiency for Laser Microwelding Copper, Lasers in Engineering 47 (2020) 187–202.

M. Hummel, C. Schöler, A. Häusler, A. Gillner, R. Poprawe, New approaches on laser micro welding of copper by using a laser beam source with a wavelength of 450 nm, Journal of Advanced Joining Processes 1 (2020) 100012.

<https://doi.org/10.1016/j.jajp.2020.100012>.

K. Bobzin, W. Wietheger, M.A. Knoch, H. Heinemann, A. Schacht, A. Gillner, M. Hummel, Thermally sprayed sensor coatings for spatially resolved temperature detection, Journal of Materials Processing Technology 291 (2021) 117043.

<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117043>.