

# Ultraschallunterstütztes Laserauftragsschweissen

## Entwicklung des Anregungssystems und Untersuchung bezüglich Eigenspannungen, Gefüge und Härte

### Diplomand



Lukas Fliri

**Einleitung:** Laser-Metal-Deposition (LMD) ist ein additives Fertigungsverfahren für Metallteile, welches sich ausgezeichnet für grosse und komplexe Bauteile oder für die Bauteilreparatur eignet. Die schnelle Plastifizierung des Schmelzbades und das rasche Abkühlen führen jedoch zu hohen Eigenspannungen. Es soll deshalb untersucht werden, ob die Anregung des Bauteils mittels Ultraschallschwingung einen positiven Effekt auf die Eigenspannungen hat und welche anderen Änderungen im Bauteil auftreten können. Diese Erkenntnisse können unmittelbar zur Weiterentwicklung des LMD-Prozesses beitragen. Ziel der Arbeit ist es, ein System zu entwickeln, welches es ermöglicht, ein Werkstück während der Fertigung mit Ultraschallschwingung anzuregen und den Einfluss der Ultraschallanregung am Bauteil auf die Eigenschaften des Werkstückes zu untersuchen.

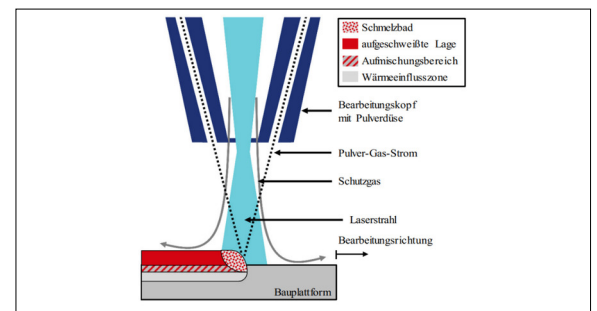
**Vorgehen / Technologien:** Das Anregungssystem wird in der herkömmlichen Methodik der Produktentwicklung ausgearbeitet. Das System verfügt über einen Ultraschallgenerator, welcher einen Ultraschallkonverter steuert. Der Ultraschallkonverter ist über Titan-Resonanzkörper mit einem Waveguide verbunden. Die Ultraschallschwingung wird durch den Waveguide an die Substratplatte geleitet, wo das Bauteil aufgeschweisst wird. Die Substratplatte weist eine Grundschiwingung und eine Oberschwingung auf. Die gesamte Schwingungsbreite beträgt 16  $\mu\text{m}$ . Die Schwingungseigenschaften und Eigenmodi des Vibrationskörpers verändern sich während dem Aufschweissen der Probengeometrie, somit muss die Masse der aufgeschweissten Probe so gering wie möglich sein, ohne die darauf folgenden Untersuchungen zu behindern.

**Ergebnis:** Alle Proben werden mit denselben vorgängig definierten Prozessparametern gefertigt und weisen ausgezeichnete Schweissraupen und äusserst wenige Lunker und Poren auf. Nach der Fertigung weisen die Ultraschallbehandelten Proben einen um ca. 5% geringeren Verzug auf, als die Kontrollgruppe ohne Ultraschall. Dies weist bereits auf geringere Eigenspannungen hin. Mittels Dehnmessstreifenrosette kann die Dehnung bzw. die Relaxation des Bauteils während dem Bohren eines Lochs in die Probenoberfläche gemessen werden. Das Ausmass der Entspannung kann als Quantifizierung der Eigenspannungen verwendet werden und ist international standardisiert. Wird der Mittelwert der Kontrollgruppe als Referenz betrachtet, so weist die Ultraschallangeregte Probe eine um 14% geringere mittlere Dehnung der Dehnmessstreifenrosette auf. Zusätzlich kann ein Effekt auf das Gefüge erkannt werden. Die Ultraschallangeregte Probe weist ein verfeinertes Gefüge mit geringerer Korngrösse auf.

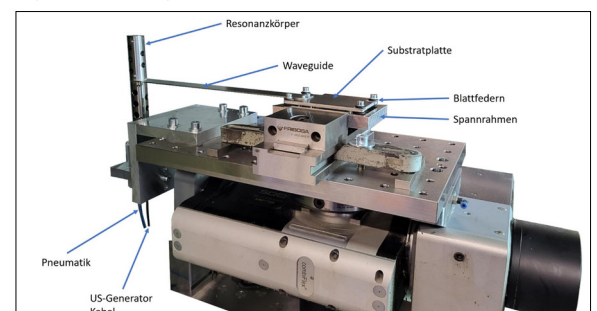
Eine Kornverfeinerung führt in der Regel zu härterem Gefüge mit höherer Festigkeit. Was durch die Durchführung einer Vickers-Härteprüfung bestätigt werden kann. Die Ultraschallangeregte Probe weist eine um 4% höhere Härte auf.

Die Ergebnisse dieser Arbeit weisen Indizien dafür auf, dass die Ultraschallanregung einen positiven Effekt auf die Bauteileigenschaften haben kann. Zum Erreichen einer statistischen Signifikanz wird empfohlen, eine grössere Anzahl Versuche durchzuführen.

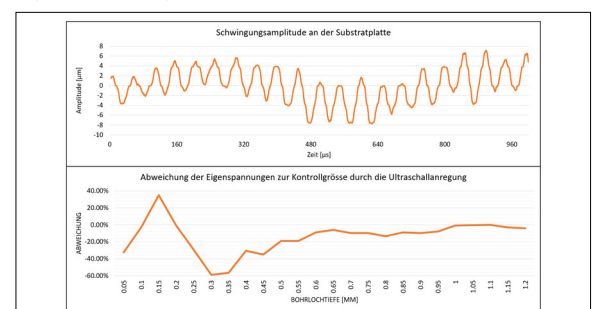
### Schematische Darstellung des LMD-Prozesses M. L. B. MLLER, PROZESSMANAGEMENT LASER- PULVERAUFTRAGSCHWEIEN



### Aufbau des Apparates zur Ultraschallanregung des LMD- Substrates Eigene Darstellung



### Schwingungsamplitude & Eigenspannungen Eigene Darstellung



### Referent

Prof. Dr. Mohammad Rabiey

### Korreferent

Stefano Capparelli, Luzern, LU

### Themengebiet Fertigungstechnik

### Projektpartner

MPI Ultrasonics, Le Locle, Neuchâtel