

## Teilprojekt A9

### **Titel**

Simulation hochdynamischer Vorgänge in der Schmelze beim Laserstrahlschmelzschnitten zur Reduktion der Riefen- und Bartbildung

### **Projektleitung/-bearbeitung**

Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Schulz/Dr. rer. nat. Ulrich Halm  
Lehr- und Forschungsgebiet Nichtlineare Dynamik der Laser-  
Fertigungsverfahren NLD, RWTH Aachen

### **Aufgabenstellung**

Wesentliche Elemente der zweiten Phase sind eine Vertiefung des Prozessverständnisses und eine Verfeinerung entwickelter Modelle. Im zurückliegenden Berichtszeitraum umfasst das im Wesentlichen:

- Analyse von Ursache-Wirkungszusammenhängen zwischen Dynamik der Schmelzfront am Scheitel und der Oberflächenrauheit.
- Modellierung realer Strahlverteilungen als Eingang für die Simulation.

### **Vorgehensweise**

Zur Analyse von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen werden Signale aus durch das Teilprojekt A8 aufgenommenen Hochgeschwindigkeitsvideographien extrahiert, die die Dynamik der Schmelzwellen als Eingang und die Oberflächenrauheit als Ausgang repräsentieren. Um Zusammenhänge zu identifizieren, werden diese Signale mit KI-Methoden analysiert und die Vorhersagen qualitativ bewertet. Eine Vorhersage, die eine bessere Qualität als eine rein statistische Vorhersage bietet, weist auf Ursache-Wirkungszusammenhänge hin, die durch eine verbesserte Modellierung aufgedeckt werden können.

Der Laserstrahl als Werkzeug ist neben der Prozessgasströmung die wesentliche Eingangsgröße für die Modellierung. Aufgrund der stark richtungsabhängigen Absorption und einer großen Empfindlichkeit der Lage der

Schmelzfront auf die Strahlverteilung ist eine möglichst genaue Abbildung des realen Strahlprofils in der Simulation notwendig. Hierzu werden Intensitätsmessungen der realen Strahlverteilung in verschiedenen Ebenen eingelesen und mit Hilfe von Rekonstruktionsalgorithmen eine Näherung des komplexen elektrischen Felds der Laserstrahlung berechnet. Diese Information über Intensität und Phase in einer Ebene senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung ermöglicht die Berechnung von Intensität und Poynting-Vektor an jedem Ort in der Wechselwirkungszone.

### **Ergebnisse**

Die Analyse von Ursache-Wirkungszusammenhängen von Schmelzwellen und Oberflächenstruktur mit KI-Methoden weist auf einen deutlichen Zusammenhang hin. Dieser wichtige Befund ist Ausgangspunkt für eine reduzierte Modellierung und eine Extraktion wesentlicher Features des Eingangssignals. Durch das Verständnis, welche Eigenschaften des Signals wesentlich für einen unregelmäßigen Austrieb der Schmelze sind, können neue Ansätze zur Kompensation abgeleitet werden.

Strahlverteilungen mit guter Qualität, die durch den Grundmode dominiert werden, lassen sich durch einen implementierten Gerchberg-Saxton Algorithmus rekonstruieren und der lokale Poynting-Vektor kann als Eingang für das Raytracing verwendet werden. Die in diesem Projekt verwendete Fasergeführte Laserstrahlung weist eine vergleichsweise schlechte Strahlqualität und hat sich damit als untauglich für eine Phasenrekonstruktion mit Hilfe eines Gerchberg-Saxton Algorithmus erwiesen. Aktuelle Ansätze zielen auf eine Rekonstruktion durch Kombination von Fasermode ab.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Offene Arbeitspunkte für 2020 umfassen:

- Extraktion wesentlicher Features, die ursächlich für einen unregelmäßigen Schmelzaustrieb sind
- Modenrekonstruktion für Laserstrahlung mit einer Strahlqualität  $M^2 \gg 1$ .
- Verfeinerung des Prozessmodells im Hinblick auf stabilisierende Effekte, wie Oberflächenspannung und temperaturabhängige Viskosität.

## Veröffentlichungen

Ulrich Halm, Markus Niessen, Dennis Arntz, Arnold Gillner, Wolfgang Schulz; Simulation of the Temperature Profile on the Cutting Edge in Laser Fusion Cutting; Lasers in Manufacturing Conference 2019

D. Arntz, D. Petring, F. Schneider, S. Stoyanov, U. Halm, A. Gillner; Quantitative Analysis of the Temporal Distance between Melt Waves on the Cutting Front Apex during Laser Fusion Cutting of Stainless-Steel Sheet Metal with 1 Micron Wavelength; Lasers in Manufacturing Conference 2019