

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 University

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

Bisherige Ergebnisse des Verbundprojekts und veröffentlichte Ergebnisse anderer Forschungsgruppen weisen auf den Zusammenhang zwischen Schwankungen in der Oberflächentemperatur der festen Phase und einer ausgeprägten Riefenamplitude hin. Maßnahmen zur Homogenisierung der Oberflächentemperatur führen zu einer Reduktion der gemittelten Rautiefe. Untersucht wurde die Wirkung einer Oszillation des Strahlzentrums in Vorschubrichtung.

Die Identifikation von Prozessparametern, die die Qualitätsmerkmale gemittelte Rautiefe und Neigungstoleranz minimieren, stellt eine inverse Aufgabe dar, bei der ein Optimum in einem mehrdimensionalen Parameterraum gesucht wird. Dazu wird eine Fehlerfunktion minimiert. Eine Zielfunktion vereinigt dabei die bekannte Struktur des Lösungsraums mit Unsicherheiten, die sich aus der Verteilung bekannter Stützpunkte und ihrer Streuung ergeben. Durch ein Gewicht zur Berücksichtigung dieser Unsicherheiten kann die Zielfunktion einen starken explorativen Charak-

ter erhalten und den Weg zu vielversprechenden Punkten im Parameterraum weisen. Ziel ist dabei eine Optimierung der Fehlerfunktion mit einer möglichst geringen Anzahl von numerischen oder realen Experimenten.

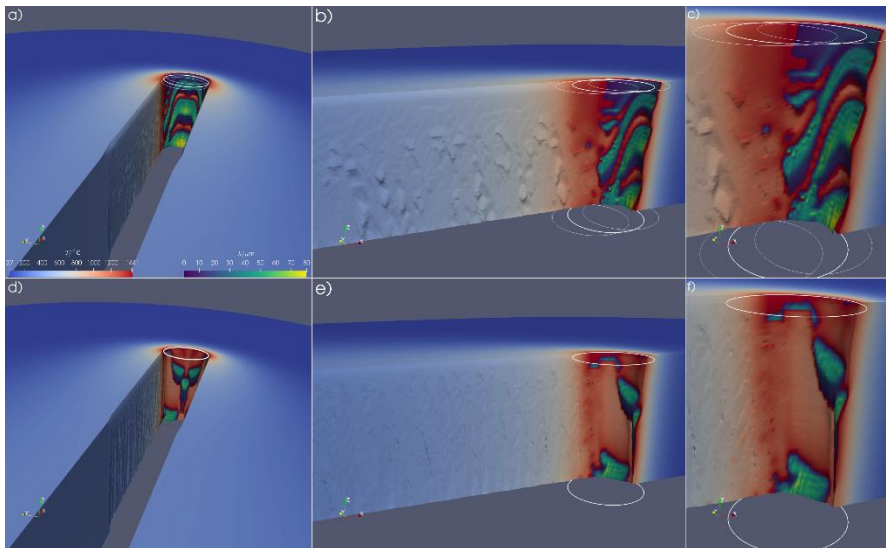


Bild 1: Qualitative Untersuchung zur Strahloszillation in Vorschubrichtung. (a) Berechnungsgebiet mit Temperatur T und Schmelzfilmdicke h auf der Schmelzfront in Falschfarben. (b) und (c) Vergrößerung der Schneidfront. (a)-(c) zeigen den Prozess für eine longitudinale Oszillation mit Delta $\Delta x = 400 \mu\text{m}$ und $f_x = 1 \text{ kHz}$. Der Strahlradius beträgt $w_0 = 850 \mu\text{m}$ bei einer Blechdicke $a = 3 \text{ mm}$. (d)-(f) zeigen den Referenzprozess ohne Oszillation. Die fett gezeichneten Kreise stellen den Laserstrahl in der zentralen Position dar, die dünn gezeichneten Kreise in (a)-(c) die maximale Auslenkung.

Ergebnisse

Bild 1 zeigt die Simulation dieser Oszillation. Dabei ändert sich die Qualität der Schnittflankentextur erheblich, die mittlere Rauhtiefe wird jedoch nur um etwa 10% reduziert, ungünstige Modulationsparameter können sogar zu einer Verdopplung führen. Dies deckt sich mit experimentellen Befunden.

Bild 2 zeigt die Lösung einer inversen Aufgabe in einem zweidimensionalen Parameterraum. Die vorgestellte Methodik lässt sich auf höhere Dimensionen verallgemeinern. Die Eigenschaft der Zielfunktion nicht nur den Fehler zu minimieren, sondern gegebenenfalls auch den Lösungsraum zu explorieren, ermöglicht dem Algorithmus aus lokalen Minima zu entkommen.

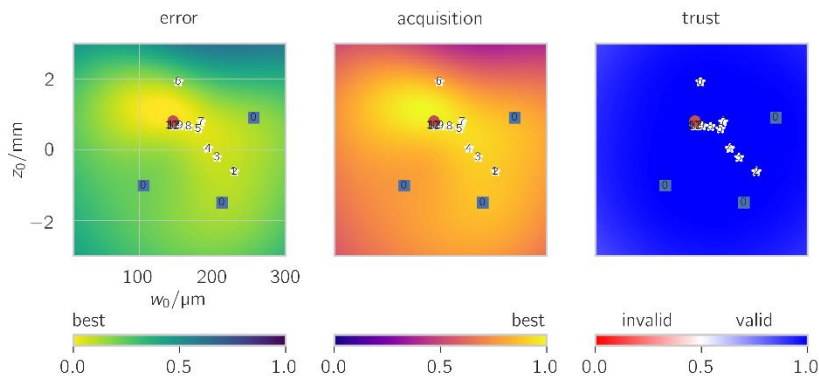


Bild 2: Ergebnis eines Optimierungsalgorithmus zum Auffinden eines Optimums (roter Punkt) in einem 2D-Parameterraum. Das Vorgehen ist dabei iterativ (weiße Sterne mit Nummern). Zu Beginn der Iteration werden 3 Startlösungen zufällig im Parameterraum berechnet (blaue Quadrate). Dabei gilt es den Fehler (error) zu minimieren. Eine Akquisitionsfunktion (acquisition) wird dabei genutzt, um mit dem nächsten Iterationsschritt eine maximale Verbesserung zu erreichen. Durch die Modellierung eines Gültigkeitskriteriums (trust) können Grenzen im Parameterraum modelliert werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Innerhalb der abschließenden Phase des Verbundprojekts sollen weitere Modulationsstrategien und weitere Kompensationsmaßnahmen, wie angepasste Strahlformen und eine Modulation der antreibenden Kräfte durch spezielle Gasdüsen untersucht werden. Die Methodik zur Lösung inverser Aufgaben soll auf ein reales Optimierungsproblem beim Laserstrahlschmelzschneiden angewandt werden.

Veröffentlichungen

HALM, U. UND W. SCHULZ. Optimization of Beam Shapes for Laser Fusion Cutting by 3D Simulation of Melt Flow. In: REISGEN U., DRUMMER D., MARSCHALL H. (eds) Enhanced Material, Parts Optimization and Process Intensification. EMPORIA 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70332-5_25, 2021.

HALM, U. UND W. SCHULZ. 3D simulation of spatial and temporal modulation in laser beam fusion cutting. In: Lasers in Manufacturing Conference 2021.



HUMMEL, M., A. HÄUSLER, S. HOLLATZ, C. HAGENLOCHER, J. LIND, U. HALM, C. SCHÖLER, A. OLOWINSKY UND A. GILLNER. Temporally and spatially highly resolved reconstruction of vapor capillary geometry during laser beam welding using synchrotron radiation. In: Lasers in Manufacturing Conference 2021.