

Teilprojekt A9

Titel

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

Projektleitung/-bearbeitung

Prof. Wolfgang Schulz, Ulrich Jansen

Lehr- und Forschungsgebiet Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren

Aufgabenstellung

Ziel des Teilprojektes ist die Erstellung eines 3D-Schneidmodells zur Beschreibung der Schmelzfilmdynamik. Technisches Ziel ist eine Vertiefung des Prozessverständnisses beim Laserstrahlschmelzschnitten aus dem neue Maßnahmen und Prozessführungsstrategien zur Reduktion der Riefen- und Bartbildung abgeleitet werden können. Die dazu benötigten Teilmodelle beschreiben die feste Phase, die Schmelz- und Schneidgasströmung und die Strahlausbreitung in der Schnittfuge. Im Bereich der Prozesszone werden die Teilmodelle über freie Ränder gekoppelt. Im zweiten Berichtszeitraum liegt der Fokus auf der Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der dynamischen Vorgänge im Schmelzfilm. In Kooperation mit dem Teilprojekt A8 werden Tools für eine automatisierte Analyse bei der Besäumschnittdiagnose entwickelt.

Vorgehensweise

Die kompressiblen Navier-Stokes Gleichungen zur Beschreibung des dünnen Schmelzfilms werden in konturangepasste Koordinaten überführt. Das Koordinatensystem gleicht dabei den Zylinderkoordinaten mit der Laserstrahlachse als z-Achse, jedoch wird der Ursprung der radialen Komponente auf die Phasengrenze fest-flüssig gelegt. Die Gleichungen und die zugehörigen Randbedingungen werden auf typische Längen skaliert. Aufgrund stark unterschiedlicher räumlicher Ausdehnungen und charakteristischer Geschwindigkeiten in den drei Raumrichtungen treten Kleinheitsparameter und Potenzen von Kleinheitsparametern vor den verschiedenen Termen der

Bewegungsgleichungen auf. Mit Hilfe der Momentenmethode werden die Gleichungen in radialer Richtung integriert und ein Ansatz für das Geschwindigkeitsfeld in dieser Richtung gewählt. Die Terme in den integrierten Gleichungen werden nun iterativ in der Reihenfolge ihrer Ordnung des Kleinheitsparameters gelöst. Diese Methode erlaubt ein näherungsweise Lösen der Bewegungsgleichung mit kontrollierbarem Fehler. Bei weiterer Hinzunahme von Termen mit großen Ordnungen des Kleinheitsparameters wird die Lösung der Gleichung im Rahmen des gewählten Ansatzes und der räumlichen und zeitlichen Auflösung des Lösungsverfahrens beliebig genau.

Ergebnisse

Die formulierten Gleichungen für den Schmelzfilm beim Laserstrahlschneiden ermöglichen eine gute und schnelle numerische Lösbarkeit mit hoher räumlicher und zeitlicher Genauigkeit. Die Möglichkeit temperaturabhängige Materialparameter, wie die Oberflächenspannung und die kinematische Viskosität, einzusetzen ist in diesen Gleichungen enthalten. Die hierarchische Lösung nach der Ordnung des Kleinheitsparameters erlaubt eine orts aufgelöste Skalierbarkeit der Lösungsgenauigkeit, so dass in großen Bereichen des Schmelzfilms, dort wo eine geringe Dynamik vorliegt, eine Lösung mit sehr kurzer Rechenzeit bestimmt werden kann. Durch die Kopplung mit einem Raytracing-Verfahren zur Berechnung der Strahlungspropagation in der Schnittfuge kann der in Teilprojekt A8 beobachtete Einfluss der Mehrfachreflexion auf das Bearbeitungsergebnis abgebildet werden. Die numerische Lösung der reduzierten Schmelzfilmgleichungen mit einem Finite Volumen Verfahren ermöglicht eine Simulation der Schmelzbaddynamik mit einer azimutalen und axialen Auflösung in der Größenordnung von $10\ \mu\text{m}$ bei Strahlradien von $500\ \mu\text{m}$ und Blechdicken von $3\ \text{mm}$ mit Berechnungszeiten von weniger als $24\ \text{h}$ für eine Schnittlänge von $5\ \text{mm}$. Zur Stabilisierung der Schmelzfilmdicke in der Simulation und zum Vergleich mit dem Experiment muss die bestehende Simulation um die Effekte Verdampfung und Oberflächenspannung erweitert werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die nächsten Arbeitspunkte lauten:

- Implizites Lösungsverfahren für Schmelzfilmgleichungen
- Oberflächenspannung
- Verdampfung
- Identifikation der physikalischen Effekte für die Riefenausbildung

Veröffentlichungen

Jansen, U.; Arntz, D.; Petring, D.; Poprawe, R.; Schulz, W.: An Automatable Algorithm for Measurement of Fluid Flow during Laser Fusion Cutting Using In-Situ Trim Cut Analysis, Material Science and Engineering Technology

Jansen, U.; Niessen, M.; Hermanns, T.; Arntz, D.; Poprawe, R.; Schulz, W.: Boundary Layer Approximation for Melt Film Dynamics in Laser Fusion Cutting, ModSim2017

Arntz, D.; Petring, D.; Jansen, U.; Poprawe, R.: Advanced trim-cut technique to visualize melt flow dynamics inside laser cutting kerfs, Journal of Laser Applications, Vol. 29 (2), 2017, DOI: 10.2351/1.4983261

Pustal, B.; Schwedt, A.; Arntz, D.; Häusler, A.; Jansen, U.; Schöler, C.; Vossel, T.; Gillner, A.; Bührig-Polaczek, A.; Mayer, J.; Schulz, W.; Poprawe, R.: Modelling Approach towards Tailored Grain Structure in Laser Processing, Material Science and Engineering Technology