

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.

Zur Analyse der Besäumschnitt-Videographien des Laserstrahlschmelzschneidens werden Werkzeuge zur automatisierten Erzeugung von sogenannten Streak-Aufnahmen entwickelt. Durch die Aneinanderreihung einer Pixelreihe in der Nähe des Scheitels der Schmelzfront aus einer Reihe von Einzelbildern des Films lässt sich die Geschwindigkeit einzelner Schmelztropfen in einen bildlichen Eindruck überführen. Durch die gemeinsame Darstellung vieler Tropfenbewegungen entsteht ein Eindruck über die Gleichmäßigkeit in der Bewegung der Schmelze und typische Zeitskalen lassen sich ablesen.

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. Eine spätere Kopplung an die Berechnung der Strahlungspropagation und der Gasströmung ist gegeben.

Aus den Streak-Aufnahmen lassen sich zwei wesentliche Zeitskalen ablesen. Die eine Skala entspricht dabei der Tropfenbewegung auf dem Scheitel der Schmelzfront und liegt in etwa eine Größenordnung oberhalb der Skala der

Riefenbildung auf der Schnittflanke. Im seitlichen Bereich der Schmelzfront lässt sich eine weitere Skala identifizieren, die eine längere Zeitkonstante aufweist und somit näher am Zeitbereich der Riefenbildung liegt. Eine physikalische Interpretation dieser Zeitskala und ihr Einfluss auf die Riefenbildung wird derzeit erarbeitet.

Zusammenfassung und Ausblick

Die nächsten Arbeitspunkte lauten:

- Numerische Lösung der Schmelzfilmgleichungen
- Kopplung des Schmelzfilms an die feste Phase
- Identifikation der physikalischen Effekte für die Riefenbildung

Veröffentlichungen

Schöler, M. Niessen, U. Jansen, W. Schulz: A Fast Method for Automated Calibration of Heat Sources, Modelling of Weld Phenomena. 2016.

D. Arntz, D. Petring, U. Jansen, R. Poprawe: Advanced Trim-Cut Technique to Visualize Melt Flow Dynamics Inside Laser Cutting Kerfs, ICALEO Proceedings. 2016.