

Teilprojekt A8

Titel

In-situ-Diagnose und Steuerung der Schmelz- und Erstarrungsdynamik beim Laserstrahlschneiden

Projektleitung/-bearbeitung

Projektleitung: Gillner, Arnold, Dr.-Ing.

Projektbearbeitung: Arntz-Schroeder, Dennis, M. Sc.; de Oliveira Lopes, Marcelo, M. Sc.

Lehrstuhl für Lasertechnik (LLT), RWTH Aachen University

Aufgabenstellung

Vorrangige Aufgabenstellung dieses Teilvorhabens ist die Auf-
findung, experimentelle Umsetzung und Erprobung neuer Me-
thoden der Präzisionserhöhung beim oxidfreien Laserstrahl-
Schmelzschneiden von Blechwerkstoffen durch die Anwendung
verbesserter In-situ-Diagnosemethoden.

Die Aufgabenstellung für 2019 umfasst weiterhin grundsätzlich
die Weiterentwicklung eines detaillierteres Verständnisses der
Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge der dominanten Teilpro-
zesse und der betroffenen, bisher nur unzureichend sensorisch
erfassten primären Prozessvariablen. Eine wesentliche Grund-
lage hierfür bildet die Identifikation der Prozessdynamik durch
Analyse des Antwortverhaltens von Prozessvariablen auf Modu-
lation der Laserparameter. Die Ermittlung der Zeitkonstanten der
beteiligten dynamischen Teilprozesse ist von fundamentaler Be-
deutung für die spätere Auslegung der Kompensationsmethoden
und erfordert aufwändige Reihenuntersuchungen.

Vorgehensweise

Die Experimente wurden mit einem 12-kW-Scheibenlaser
(Trumpf, TruDisk 12002) mit einer Wellenlänge von 1030 nm bei
einer Ausgangsleistung von 5 kW durchgeführt. Es wurde ein
Precitec HPSSL-Schneidkopf verwendet und der fasergeführte
Laserstrahl (\varnothing 200 μ m) wurde mit Brennweiten von 100 mm bzw.

250 mm kollimiert und fokussiert. Diese Konfiguration bietet einen Fokusdurchmesser von 500 μm . Eine konisch-zylindrische Düse mit einem Durchmesser von 5 mm wurde montiert und ein Abstand von 0,7 mm eingestellt. Zum Schneiden von 6 mm dicken Edelstahlproben wurde eine Fokusposition 4 mm unterhalb der Probenoberseite und ein Gasdruck von 20 bar in Kombination mit vier verschiedenen Schneidgeschwindigkeiten (v_c : 0,8; 1,8; 2,8; 3,8 m/min) verwendet.

Zur Visualisierung und Analyse der Schmelzflussdynamik am Schneidfrontscheitel wurden Einschnitte vorgenommen und die Beobachtungsrichtung durch die entstehende Schnittfuge ausgerichtet (Bild 1; a). Der interessierende Bereich der verwendeten Hochgeschwindigkeitskamera (Photron SA 5) wurde auf 64 x 376 px eingestellt, um eine Aufnahmebildrate von 140.000 fps zu ermöglichen. Durch die Verwendung einer NIKON 200 mm Makrolinse wurde eine räumliche Auflösung von 20 $\mu\text{m}/\text{px}$ ermöglicht. Um Artefakte vom Schnittbeginn zu eliminieren und eine ausreichende statistische Auswertung der Geschwindigkeitsverteilung zu gewährleisten, wurde der Auswertungsbeginn 2 mm hinter den Schnittbeginn gelegt und für jede Auswertung eine Schnittlänge von 5 mm verwendet. (Bild 1; a)

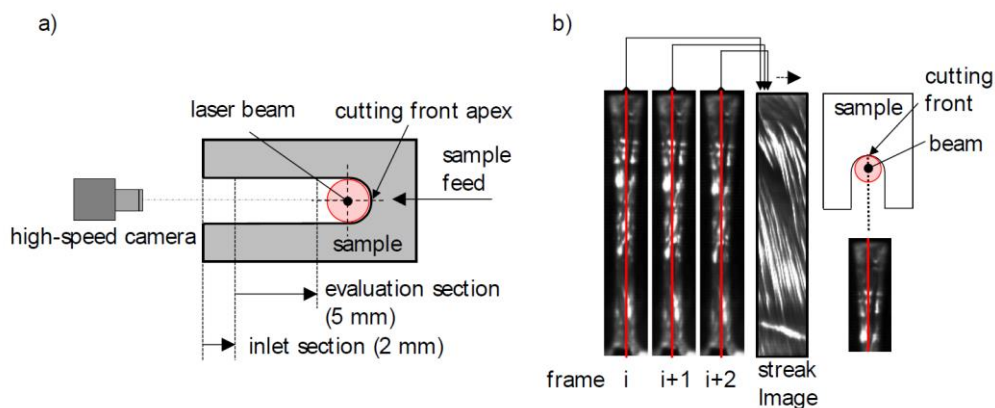


Bild 1: (a) Prinzip der In-situ-Diagnostik bei Einschnitt-Verfahrenen; (b) Prinzip des Streakaufnahmeverfahrens

Zur Bewertung der Schmelzflussdynamik wurde ein Algorithmus entwickelt, um die an der Schneidfront auftretenden hell leuchtenden Schmelzwellen aus den Hochgeschwindigkeits-Videoaufnahmen zu erkennen. Dazu wurde ein von Bergman S., 2019 programmierter Peak-Finder angepasst, um die horizontale (zeitliche) Verteilung der Grauwerte aus Streifenbildern (Bild 1; b) in

jeder Schnitttiefe zu analysieren. Dazu wurden in jeder einzelnen horizontalen Pixelzeile der Streakaufnahme horizontale Analysebalken platziert (Bild 2).

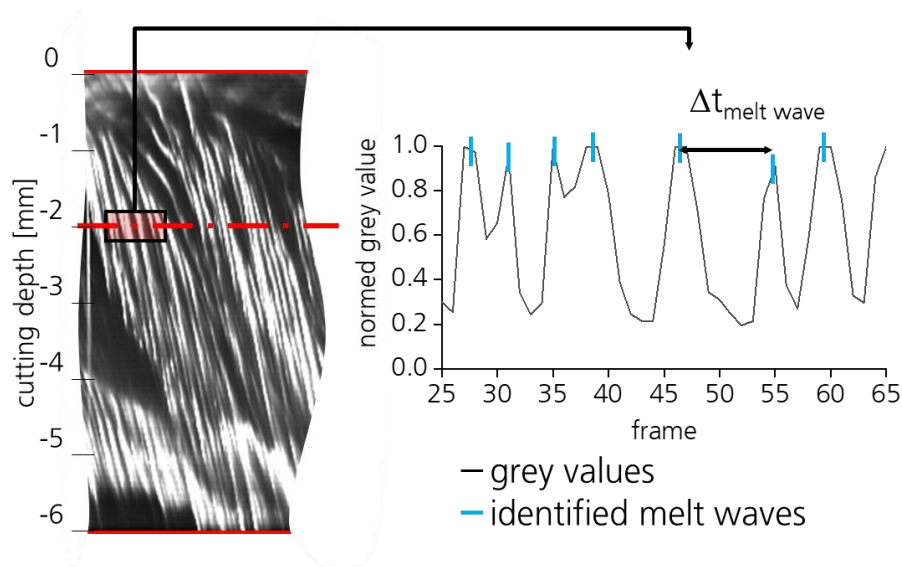


Bild 2: Prinzip Darstellung: Analyse der Schmelzfilmdynamik, Detektion und Auswertung von Schmelzwellen

Die Peaks und damit die Schmelzwellen wurden dem zeitlichen Prozessverlauf und der Schnitttiefe zugeordnet. Um unterschiedliche Längen der Prozessdauern aufgrund der unterschiedlichen Schnittgeschwindigkeiten zu berücksichtigen, wurde die Anzahl der Schmelzwellen über die Zeit normiert. Durch die Kenntnis des zeitabhängigen Ortes jeder Schmelzwelle wird eine schneidetiefenabhängige Analyse des zeitlichen Abstandes zwischen den Schmelzwellen möglich.

Ergebnisse

Der vorgestellte Ansatz zur Analyse der zeitlichen und lokalen Schmelzwellenverteilung am Schneidfrontscheitel durch quantitative Auswertung von Streakaufnahmen erlaubt folgende Aussagen:

- Grundlage für eine Schnittflanke mit geringer mittlerer Oberflächenrauheit ist ein stabiler Schmelzfilm, der die Schnittfront permanent benetzt.

- Regelmäßige Schmelzwellen am Schneidfrontscheitel bei kleinen Schnitttiefen sind vorteilhaft für eine geringe Schnittflankenrauheit der gesamten Schnittfläche.
- Die Regelmäßigkeit der Schmelzwellenfrequenz kann bei kleineren Schnitttiefen mit höheren Schneidgeschwindigkeiten erreicht werden.
- Ein kleiner zeitlicher Schmelzwellenabstand scheint vorteilhaft für eine Reduzierung der Oberflächenrauheit zu sein.
- Im untersuchten Schneidgeschwindigkeitsbereich (v_c : 0,8 - 3,8 m/min) findet sich für den zeitlichen Schmelzwellenabstand eine charakteristische Zeit von 30-35 μ s.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse sind eine Grundlage für die Entwicklung von Optimierungsstrategien zur Reduzierung der Schnittflankenrauheit. In zukünftigen Arbeiten soll eine noch höhere zeitliche Auflösung der in-situ-Diagnose angewendet werden, um die untere Grenze des zeitlichen Schmelzwellenabstandes zu validieren. Weitere Parametervariationen, wie z.B. die Variation des Gasdrucks und der Fokusslage, sollten evaluiert werden.

Veröffentlichungen

Arntz, D.; Petring, D.; Schneider, F.; Poprawe, R.: "In Situ High Speed Diagnosis — A Quantitative Analysis of Melt Flow Dynamics Inside Cutting Kerfs During Laser Fusion Cutting With 1 μ m Wavelength". In Journal of Laser Applications (2019), 31, S. 22206, DOI: 10.2351/1.5096091.

Arntz, D.; Petring, D.; Schneider, F.; Stoyanov, S.; Halm, U.; Gillner, A.: "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, München, Juni 2019.

Petring, D.; Arntz, D.; Stoyanov, S.; Schneider, F.: "Effects of Beam Power and Power Density Distribution on Process and

Quality Issues during Fiber Laser Cutting of Stainless Steel Sheet Metal". Lasers in Manufacturing Conference 2019, München, Juni 2019.

Stoyanov, S.; Petring, D.; Arntz, D.; Günder, M.; Gillner, A.; Poprawe, R.: "Investigation on the Melt Ejection and Burr Formation During Laser Fusion Cutting of Stainless Steel". 38th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO® 2019), Orlando, FL, USA, #1402.

Halm, U.; Niessen, M.; Arntz, D.; Gillner, A.; Schulz, W.: "Simulation of the Temperature Profile on the Cutting Edge in Laser Fusion Cutting". Lasers in Manufacturing Conference 2019, München, Juni 2019.