

Teilprojekt A8

Titel

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

Projektleitung/-bearbeitung

Projektleitung: Gillner, Arnold, Dr.-Ing.

Projektbearbeitung: Arntz, Dennis, 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 2018 umfasst weiterhin grundsätzlich
die Weiterentwicklung eines detaillierteres Verständnisses der
Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge der dominanten
Teilprozesse und der betroffenen, bisher nur unzureichend sen-
sorisch erfassten primären Prozessvariablen. Eine wesentliche
Grundlage hierfür bildet die Identifikation der Prozessdynamik
durch Analyse des Antwortverhaltens von Prozessvariablen auf
Modulation der Laserparameter. Die Ermittlung der Zeitkonstan-
ten der beteiligten dynamischen Teilprozesse ist von fundamen-
taler Bedeutung für die spätere Auslegung der Kompensations-
methoden und erfordert aufwändige Reihenuntersuchungen.

Vorgehensweise

Für die Untersuchungen werden kaltgewalzte 1.4301 Edelstahl-
bleche mit 6 mm Dicke verwendet. Lineare Ein- bzw. Abschnitte
werden mit einem fasergeführten Scheibenlaser (TruDisk 12002)
bei einer Laserleistung von 5 kW, einem Fokusbereich von
500 μm bei einer Rayleighlänge von 6,5 mm erstellt. Die Pro-
zessparameter Fokusslage, Schneidgeschwindigkeit und
Schneidgasdruck werden variiert. Die Analyse der Prozessdyna-
mik erfolgt mittels in situ Visualisierung bzw. Detektion des sich

im Prozess auf der Schneidfront und am Übergang zur Schnittflanke ausbildenden Schmelzfilms. Hierzu werden zum einen das Einschnittverfahren (an realen Einschnitten) mit parallel zur Schnittrichtung ausgerichteter Hochgeschwindigkeitskamera eingesetzt, und zum anderen das Besäumschnittverfahren mit seitlich gedrehter Beobachtungsrichtung genutzt. (Bild 1)

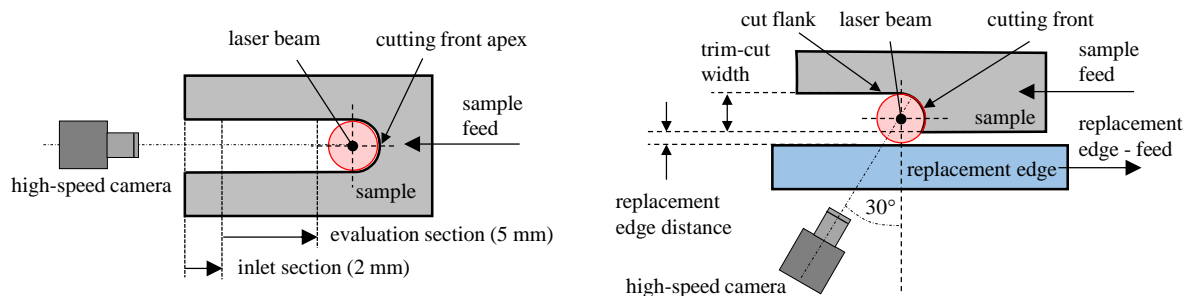


Bild 1: Prinzip der in situ Diagnose. Kameraorientierung bei Einschnitt-Verfahren (links) und Besäumschnitt-Verfahren (rechts)

In beiden Fällen wird das thermische Prozessleuchten mit einer örtlichen Auflösung von $20 \mu\text{m}/\text{px}$ und einer Aufzeichnungsfrequenz von 100 kHz visualisiert. Die Auswertung der Prozessaufnahme erfolgt beim Einschnittverfahren mit einer Auswertelänge von 5 mm nach einer Einschnittlänge von 2 mm. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass ein stabiler Prozessbereich analysiert wird. Eine längere Auswertestrecke ist nicht sinnvoll möglich, da der senkrechte parallele Schnittspalt ($< 1 \text{ mm}$) als Blende wirkt, wodurch der Kontrast der Aufnahme mit Zunahme der Schnittlänge verringert wird.

Der Schmelzfilm auf der Schneidfront zeichnet sich u.a. durch hochdynamische abwärts, Richtung Fugenausritt, bewegte hell leuchtende Schmelzwellen aus. Zur quantitativen Analyse der Schmelzwellen werden die Helligkeitsunterschiede entlang einer vertikalen Analyselinie ausgewertet. (Bild 2)

Genutzt werden die Daten welche mittels Einschnittverfahren generiert werden. Gezählt bzw. bestimmt werden sowohl Anzahl als auch Geschwindigkeitsbereich einzelner Schmelzwellen. Die Auswertung von Geschwindigkeitsverteilungen wird sowohl über die vollständige Schnitttiefe als auch in diskreten Schnitttiefenbereichen durchgeführt.

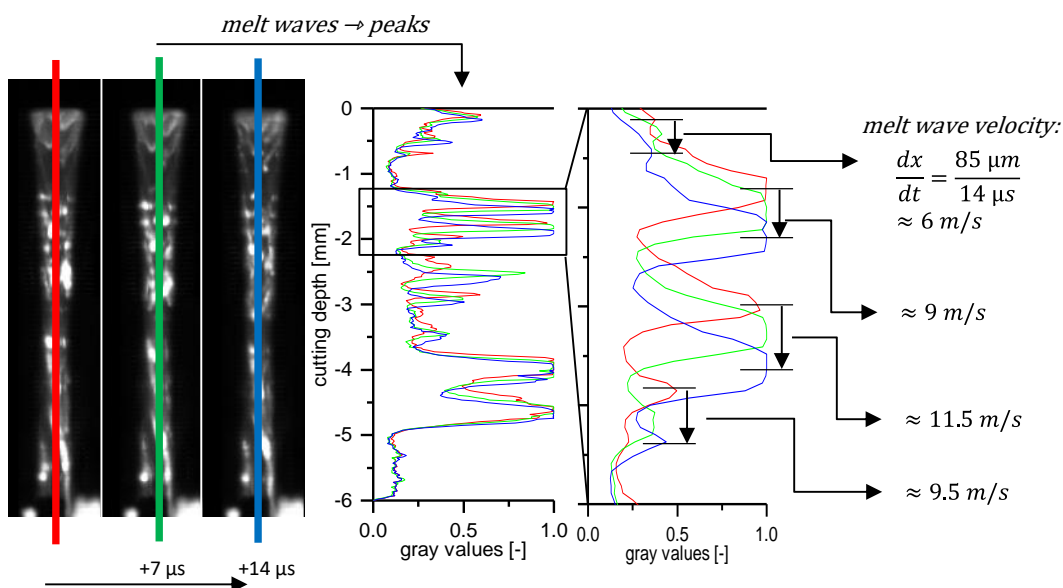


Bild 2: Prinzip Darstellung: Analyse der Schmelzfilmdynamik, Detektion und Auswertung von Schmelzwellen

Die Korrelation der Geschwindigkeitsverteilung mit der Schnittflankenrautiefe, der, neben der Bartbildung, dominanten qualitätsbestimmenden Eigenschaften der Schnittflanke, wird möglich. Ergänzt wird die quantitative Analyse mit der qualitativen Analyse von Einzelbildfolgen, welche mittels Einschnitt- und Besäumschnittverfahren aufgezeichnet werden. Bild 3

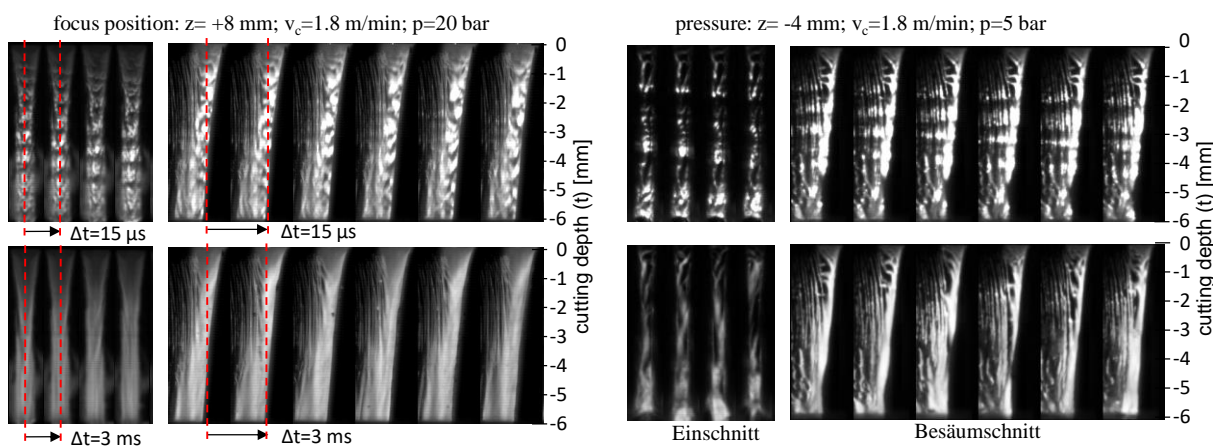


Bild 3: Einzelbildanalyse bei unterschiedlichen Schneidparametern; Unterteilt in Einschnitte (je links), Besäumschnitte (je rechts) unbearbeitete Einzelbilder (je oben) und zeitlich gemittelte Einzelbilder (je unten)

Ergebnisse

Die Reduzierung der Oberflächenrauheit korreliert bei Betrachtung der gesamten Schnitttiefe, mit wenigen Ausnahmen, positiv mit der Anzahl von detektierten Schmelzwellen. Die Einzelbildanalyse der in situ Diagnose ermöglicht die Beobachtung von zwei Effekten, die einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der am Schneidfrontscheitel erfassten und gezählten Schmelzwellen haben:

- Die Anzahl der gezählten Schmelzwellen nimmt ab, wenn die Schmelzwellen nicht strikt vertikal nach unten, sondern laterale aus dem Analysebereich am Schneidfrontscheitel zum Übergang zur Schnittflanke gleiten. In diesem Fall werden sie durch das verwendete Analyseverfahren nicht mehr detektiert, da hierbei nur Bereiche in Nähe zum Schneidfrontscheitel ausgewertet werden. Dieser Effekt tritt auf, wenn der Schmelzfluss sich zu einzelnen Schmelzsträngen lateral verengt. (vgl. Bild 3, rechts)
- Bei einem stabilen Schmelzfilm kann die Anzahl der gezählten Schmelzwellen weiter ansteigen, wenn Schmelzwellen mit geringerer vertikaler Ausdehnung gebildet werden. Oder, wenn die Oberfläche von Schmelzwellen nicht glatt ist, sondern eine weitere feinere, noch erkennbare Oberflächenstruktur entsteht.

Niedrige Werte der gezählten Schmelzwellen können daher auf das Auftreten eines verengten instabilen Schmelzfilms hinweisen. Das Auftreten eines instabilen Schmelzfilms korreliert positiv mit einer erhöhten Oberflächenrautiefe.

Mit positiven Fokuslagen und mit Erhöhung der Schneidgeschwindigkeit kann eine Stabilisierung des Schmelzfilms sowie eine Beschleunigung der Schmelzwellen beobachtet und eine Reduktion der Schnittflankenrautiefe gemessen werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die genutzten in situ Diagnoseverfahren ermöglichen in Kombination mit automatisierten Auswerteverfahren die quantitative und qualitative Analyse der Schmelzfilmdynamik beim Laserstrahlschneiden. Eine Korrelation zwischen Schnittflankenqualität und Schmelzfilmdynamik wird möglich. Ein gleichmäßiger Schmelzfilm sowohl auf dem Schneidfrontscheitel als auch auf dem Übergang zur Schnittflanke ist notwendig aber nicht hinreichend für eine reduzierte Schnittflankenrautiefe ist. Darüber

hinaus wird ein beschleunigter Schmelzfilm notwendig. Mit den neuen Erkenntnissen kann die Schmelzfilmdynamik eindeutig als qualitätsbestimmende Eigenschaft identifiziert und Kompensationsmethoden zur Qualitätssteigerung abgeleitet werden. Die gezielte Anregung der Schmelzfilmdynamik stellt somit den nächsten Arbeitspunkt des Teilprojektes eindeutig da.

Veröffentlichungen

Pirch, N.; Niessen, M.; Linnenbrink, S.; Schopphoven, T.; Gasser, A.; Poprawe, R.; Schöler, C.; Arntz, D.; Schulz, W., 2018. Temperature field and residual stress distribution for laser metal deposition. In: J. Laser Appl., Vol. 30 (3), 032206 (2018); doi.org/10.2351/1.5040634

Gach, S.; Olschok, S.; Arntz, D.; Reisgen, U., 2018. Residual stress reduction in carbon manganese steels using low-transformation-temperature (LLT) filler materials – in situ diagnostics with digital image correlation. In: J. Laser Appl., Vol. 30 (3), 032416 (2018); doi.org/10.2351/1.5040599

Arntz, D., Petring, D., Stoyanov, S., Jansen, U., Schneider, F., Poprawe, R., 2018. In-situ-visualization of multiple reflections on the cut flank during laser cutting with 1 micron wavelength. In: J. Laser Appl., Vol. 30 (3), 032206 (2018); doi.org/10.2351/1.5040614

Arntz, D., Petring, D., Stoyanov, S., Quiring, N., Poprawe, R., 2018. Quantitative study of melt flow dynamics inside laser cutting kerfs by in-situ high-speed video-diagnostics. In: Procedia CIRP 74 (2018) 640-644; doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.057

Arntz, D., Petring, D., Schneider, F., Poprawe, R., 2018. In-situ high speed diagnosis – a quantitative analysis of melt flow dynamics inside cutting kerfs during laser fusion cutting with 1 micron wavelength. In: Proceedings of the ICALEO Conference (Paper 102), 2018.