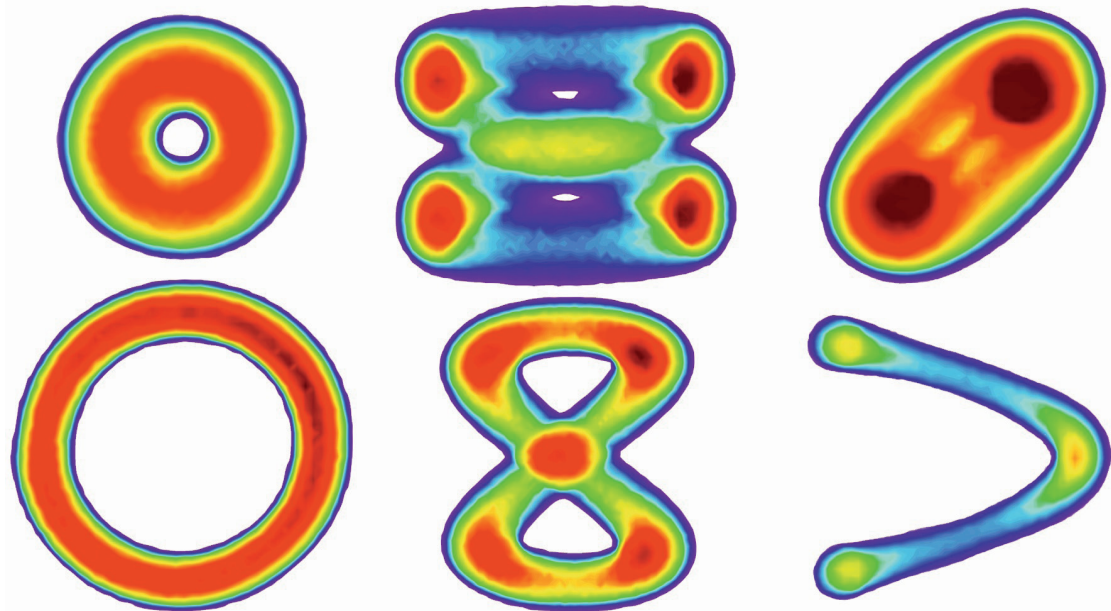


Innovatives Konzept der Strahloszillation zum effizienten Laserstrahlschmelzschneiden

Cindy Goppold





TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Innovatives Konzept der Strahloszillation zum effizienten Laserstrahlschmelzschneiden

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt

der Fakultät Maschinenwesen
der Technischen Universität Dresden

von

M. Eng. Cindy Goppold
geboren am 12.05.1990 in Pirna.

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Andrés Fabián Lasagni
Technische Universität Dresden
Professur für Laserbasierte Methoden der
großflächigen Oberflächenstrukturierung
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Jens Bliedtner
Ernst-Abbe-Hochschule Jena
Professur für Fertigungstechnik und
Fertigungsautomatisierung

Tag der Einreichung: 03.03.2020

Tag der Verteidigung: 08.07.2020

Berichte aus der Lasertechnik

Cindy Goppold

**Innovatives Konzept der Strahloszillation zum
effizienten Laserstrahlschmelzschneiden**

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Dresden, Techn. Univ., Diss., 2020

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7629-5

ISSN 0945-084X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzdarstellung

Das Laserstrahlschmelzschnitten von Dickblech erfordert einen Kompromiss aus Produktivität und Schnittkantenqualität. Ursächlich sind die sich gegenseitig begrenzenden Prozessmechanismen Wärmeleitung und Schmelzaustrieb. Durch die Nutzung der statischen Strahlformung ist es nicht möglich, diese Abhängigkeit aufzuheben. Die vorliegende Abhandlung untersucht den Einfluss der dynamischen Strahloszillation als neuartigen Lösungsansatz. Im Ergebnis sind sowohl die Produktivität als auch Schnittkantenqualität des Schneidergebnisses signifikant gesteigert. Das wurde anhand des Performanz-Kriteriums ermittelt, welches die Schneidgeschwindigkeit, die Grathöhe und Schnittkantenrauheit umfasst. Entscheidend dafür ist eine veränderte Energiedeposition. Während die statische Strahlformung kontinuierlich Laserenergie appliziert, erfolgt dies graduell bei der Strahloszillation. Ein weiterer entscheidender Fakt ist die Erhöhung der Wechselwirkungszeit durch die Strahloszillation. Mittels hochfrequenter und orts aufgelöster Temperaturmessung ist erstmalig gezeigt, dass dadurch ein stark volatiles Temperaturprofil mit sehr hohen Maximaltemperaturen und sequentieller Abkühlung entsteht. Die Strahloszillation fördert damit nachweislich den Wärmetransport beim Laserstrahlschmelzschnitten von Dickblech und erzielt somit höchste Produktivität. Die aufgezeigten Qualitätsverbesserungen, wie eine geringere Gratanhaftung, indizieren ferner einen positiven Einfluss der Strahloszillation auf den Schmelzaustrieb.

Abstract

Laser beam fusion cutting of thick plate metal requires a compromise between productivity and cut edge quality. This is due to the interfering process mechanisms of heat conduction and melt ejection. It is not possible to eliminate this dependency by using static beam shaping. The present thesis investigates the influence of dynamic beam oscillation as a novel concept. As a result, both productivity and cut edge quality of the cutting result are significantly increased. This was identified on the basis of the performance criterion, which includes cutting

speed, burr height and cut edge roughness. The decisive factor is a changed energy deposition. While static beam shaping continuously applies laser energy, this occurs gradually during beam oscillation. Another decisive fact is the increase of the interaction time due to beam oscillation. By means of high-frequency and spatially resolved temperature measurement, it is shown for the first time that this results in a highly volatile temperature profile with very high maximum temperatures and sequential cooling. Beam oscillation thus proves to enhance the heat transport during laser beam fusion cutting of thick plate metal and thus achieves highest productivity. The identified quality improvements, such as reduced burr adhesion, indicate a positive influence of beam oscillation on the melt ejection.

Danksagung

Die vorliegende Dissertationsschrift entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in der Gruppe Laserschneiden.

Ein herzliches Dankeschön gilt all denen, die durch Ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Zuallererst sind Prof. Dr.-Ing. Andrés Fabián Lasagni als mein Doktorvater, DI Thomas Pinder als mein wissenschaftlicher Betreuer am Fraunhofer IWS und Dr.-Ing. Patrick Herwig als mein Gruppenleiter zu nennen. Ich danke euch für die unzähligen Stunden die wir miteinander diskutiert haben. Euer Mittelmaß aus Lob und konstruktiver Kritik, haben mich meinem Ziel kontinuierlich nähergebracht.

Ich möchte Prof. Dr.-Ing. Jens Bliedtner der Ernst-Abbe-Hochschule Jena danken, dass er das Zweitgutachten meiner Dissertation übernahm.

In meiner Zeit als Promovend habe ich studentische Abschlussarbeiten betreut, wobei mir insbesondere Sophie Möbes und DI Susanne Schulze eine große Hilfe bei der experimentellen Durchführung meiner Dissertation waren. Ich danke auch allen anderen Kollegen des Fraunhofer IWS, die stets mit aufmunternden Worten oder Rat und Tat zur Seite standen.

Nicht zu vergessen sind die Korrekturleser – Dr.-Ing. Florian Lindner und Dr. rer. nat. Franziska Steudel – deren zahlreiche Hinweise und Anregungen mir eine wertvolle Unterstützung waren.

Ohne meine Familie hätte ich es nicht geschafft. Ich danke meinen Eltern, dass Sie immer hinter mir stehen und mich bei jedem Vorhaben aufs Neue unterstützen. Die größte Dankbarkeit empfinde ich gegenüber meinem Ehemann, der nie aufhört an mich zu glauben, der mich immer aufs Neue motiviert hat und der mir Freiräume zum Schreiben geschaffen hat.

Inhaltsverzeichnis

Glossar	1
1 Einleitung.....	3
2 Stand der Forschung.....	7
2.1 Mechanismen und Limitierung des Laserstrahl- schmelzscheidens	7
2.2 Strahlformung des Laserstrahlschmelzscheidens	13
2.2.1 Statische Strahlformung	14
2.2.2 Dynamische Strahlformung	24
2.3 Lösungsansatz der Strahloszillation	28
2.3.1 Einfluss der Oszillationsparameter auf die Energiedeposition	31
2.3.2 Strahloszillation beim Laserstrahlschweißen.....	35
2.3.3 Strahloszillation beim Laserstrahlbrennschneiden....	39
2.3.4 Strahloszillation beim Laserstrahlschmelzschneiden.	41
3 Präzisierung der Aufgabenstellung.....	43
4 Materialien und Methoden.....	47
4.1 Experimenteller Versuchsaufbau	47
4.2 Auswahl des Werkstoffes.....	49
4.3 Bestimmung der Schneidparameter	50
4.4 Festlegung der Probengeometrie	52
4.5 Charakterisierung der Schneidergebnisse	53
4.6 Charakterisierung der Temperaturverteilung in der Prozesszone	56
4.7 Statistische Auswertung der Charakterisierungsergebnisse	57
5 Ergebnisse und Diskussion.....	59
5.1 Anfertigen der Referenzprobe	59
5.2 Performanz-Kriterium zur Bewertung des Schneid- ergebnisses	61
5.3 Theoretische Einschränkung geeigneter Oszillations- parameter	62
5.4 Nachweis der Prozessoptimierung durch Strahloszillation..	66
5.4.1 Lissajous-Figur Linie transversal.....	66

5.4.2	Lissajous-Figur Linie longitudinal.....	77
5.4.3	Lissajous-Figur Kreis.....	90
5.4.4	Ergebnisvergleich der unterschiedlichen Lissajous-Figuren	97
5.5	Einfluss von Wechselwirkungsfläche und Energiedichte der unterschiedlichen <i>Lissajous</i> -Figuren auf die Performanz	99
5.5.1	Die Einflussgröße Wechselwirkungsfläche	100
5.5.2	Die Einflussgröße Energiedichte.....	103
5.6	Einfluss der Dynamik der <i>Lissajous</i> -Figur Linie longitudinal auf die Performanz	109
5.6.1	Energiedeposition als Funktion der Dynamik	110
5.6.2	Temperaturverteilung in der Prozesszone	120
6	Zusammenfassung und Ausblick	129
6.1	Zusammenfassung	129
6.2	Einordnung der Strahloszillation in die praktische Anwendung.....	132
6.3	Ausblick.....	134
7	Anhang	139
7.1	Umfrage zur Beurteilung von Schneidergebnissen des Laserstrahlschmelzschneidens von Blechdicken > 6 mm..	139
7.2	Datensätze zur Klärung des Einflusses der <i>Lissajous</i> -Figur (Kapitel 5.4)	141
7.2.1	Lissajous-Figur: Linie transversal.....	141
7.2.2	Lissajous-Figur: Linie longitudinal.....	142
7.2.3	Lissajous-Figur Kreis.....	144
7.3	Temperaturverteilung der Prozesszone für die <i>Lissajous</i> - Figur Linie longitudinal	146
	Verwendete Formelzeichen.....	149
	Literaturverzeichnis	151