

Beitrag zum Mikronahtschweißen von Edelstahlfolien mittels diodengepumptem Nd:YAG- Laser

Von der Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik
der Technischen Universität Chemnitz
genehmigte Dissertation zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

erarbeitet in Kooperation mit dem Laserzentrum Fachhochschule Münster,
FB Physikalische Technik

von

Dipl.-Ing. Rüdiger Brockmann

geboren am 24. Februar 1971 in Münster-Hiltrup

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Jürgen Matthes
Prof. Dr.-Ing. Klaus Dickmann
Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Füssel

Tag der mündlichen Prüfung und Verteidigung: 24. Januar 2003

Schriftenreihe Füge-technik / Schweiß-technik

Band 1/2003

Rüdiger Brockmann

**Beitrag zum Mikronahtschweißen
von Edelstahlfolien mittels
diodengepumptem Nd:YAG-Laser**

Shaker Verlag
Aachen 2003

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Brockmann, Rüdiger:

Beitrag zum Mikronahtschweißen von Edelstahlfolien mittels
diodegepumptem Nd:YAG-Laser/Rüdiger Brockmann.

Aachen: Shaker, 2003

(Schriftenreihe Fügetechnik/Schweißtechnik; Bd. 2003,1)

Zugl.: Chemnitz, Techn. Univ., Diss., 2003

ISBN3-8322-1324-4

Copyright Shaker Verlag 2003

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1324-4

ISSN 1434-7393

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Diese Arbeit entstand am Institut Fertigungstechnik/Schweißtechnik der Technischen Universität Chemnitz, während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Laserzentrum Fachhochschule Münster, FB Physikalische Technik.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Jürgen Matthes, der die wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit an der TU Chemnitz übernahm, und es mir ermöglichte die kooperative Promotion durchzuführen. Durch sein Engagement und die vielen konstruktiven Gespräche hat Herr Prof. Matthes entscheidend zum – so hoffe ich- Gelingen dieser Promotion beigetragen.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Dickmann, der mich als Leiter des LFM bei der Durchführung betreute. Erst durch seinen persönlichen Einsatz und die enorme Unterstützung wurde diese Arbeit ermöglicht.

Besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Füssel von der Technischen Universität Dresden, der freundlicherweise die Begutachtung der Dissertation übernahm.

Allen Mitarbeitern des Laserzentrums FH Münster sowie Herrn Dipl.-Ing. Holger Letsch und Dipl.-Ing. Stefan Meier bin ich zu Dank verpflichtet, da sie durch ihre Unterstützung und die vielen fachlichen Diskussionen zur Entstehung dieser Arbeit beitrugen. Insbesondere steuerte Herr Dipl.-Ing. Walter Horn durch seine Diplomarbeit am LFM einen wesentlichen Teil der praktischen Arbeiten bei.

Nicht zuletzt gilt besonderer Dank auch meiner Freundin Beate Kampe, meiner Familie, meinen Freunden und allen, die nicht persönlich genannt sind, für die Hilfe bei der Erstellung, Durchsicht und Korrektur der Arbeit. Ihre Unterstützung und die Aufmunterungen, auch in schwierigen Stunden, halfen mir sehr.

Castrop-Rauxel, Januar 2003

Rüdiger Brockmann

Inhalt:

Inhalt.....	I - III
Formelzeichen, Abkürzungen, Symbole.....	IV - VII
1. Einleitung / Einführung.....	1
2. Problemstellung, Ziel der Untersuchungen.....	5
3. Stand der Technik.....	7
3.1 Laserstrahlmikroschweißen	7
3.1.1 Verfahrensprinzip	7
3.1.2 Laserstrahlquellen für das Mikroschweißen.....	10
3.1.3 Bekannte Anwendungsbeispiele des Lasermikroschweißens	12
3.2 Konventionelle Mikroschweißverfahren.....	14
3.2.1 Mikrowiderstandsschweißen	14
3.2.2 Mikroplasma-schweißen	15
3.2.3 Elektronenstrahl- Mikroschweißen.....	17
3.2.4 Thermokompressionsschweißen (Heizelementschweißen).....	17
3.2.5 Ultraschallmikroschweißen	18
3.2.6 Thermosonic- Mikroschweißen	18

4.	Konzeption einer Laserbearbeitungsanlage für die Mikrofertigung / Versuchsaufbau zum Mikroschweißen	21
4.1	Anforderungen an das Gesamtsystem.....	21
4.2	Laserstrahlquellen und Strahlführung.....	21
4.3	Handhabungssystem.....	27
5.	Modellbildung / Temperaturfeldberechnung während des Schweißprozesses.	29
5.1	Einfache Modellbildung: Berechnung des laserinduzierten Temperaturfeldes in einer dünnen bewegten Metallfolie (eindimensionale Wärmeleitung).....	30
5.2	Erweiterung des Modells: Berechnung des laserinduzierten Temperaturfeldes in einer dünnen bewegten Metallfolie unter Berücksichtigung des Stefan- Problems (zweidimensional und dreidimensional).....	39
5.2.1	Berechnung des gemittelten Temperaturfeldes (zweidimensional).....	43
5.2.2	Ergebnisse der zweidimensionalen Berechnungen.....	47
5.2.3	Numerische Berechnung des Temperaturfeldes unter Berücksichtigung des Stefan- Problems (dreidimensional).....	49
6.	Praktische Untersuchungen an Metallschweißverbindungen	53
6.1	Materialauswahl	53
6.2	Blindnahtschweißungen	55
6.3	Nahtschweißungen im Überlappstoß.....	60
6.3.1	Optimierte Spanntechnik für Überlappverbindungen	60
6.3.2	Durchführung der Überlappschweißversuche	62

7.	Eigenschaften der hergestellten Laser- Mikroschweißverbindungen	63
7.1	Prüfmethoden und Messwertermittlung	63
7.2	Einfluss des Prozessgases auf die Schweißergebnis	64
7.3	Härteuntersuchungen in der Schweißzone	67
7.4	Zugversuche	70
8.	Vergleich von Modell und Versuchsergebnissen.....	73
9.	Anwendungsorientierte Untersuchungen	81
10.	Ausblick.....	90
11.	Zusammenfassung	96
12.	Literatur	100
13.	Abbildungs- / Tabellenverzeichnis	113
Anhang		
(Anhang A).....	Technische Daten von Strahlquellen und Positioniereinheit	
(Anhang B).....	Mathematische Ergänzung zu Kapitel 5	