Schneiden und Schweißen strukturierter Bleche mit Faserlaser

Cutting and welding of structured sheet metals with fiber laser

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg zur Erlangung des
akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieurin
Ina Sasse

Geboren am 14. Februar 1985 in Haselünne

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. E. Sarradj
1. Gutachter: Univ.- Prof. Dr.-Ing. habil. V. Michailov
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. B. Viehweger

Tag der mündlichen Prüfung: 16.07.2014

Berichte des Lehrstuhls Füge- und Schweißtechnik
der BTU Cottbus-Senftenberg

Band 6

Ina Sasse

Schneiden und Schweißen strukturierter Bleche mit Faserlaser

Cutting and welding of structured sheet metals with fiber laser

Shaker Verlag
Aachen 2014

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.: Cottbus-Senftenberg, BTU, Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3035-8
ISSN 1867-4887

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meines Promotionsstudiums an der Internationalen Graduiertenschule (IGS) und der Tätigkeit am Lehrstuhl Füge- und Schweißtechnik der BTU Cottbus-Senftenberg.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater und ersten Gutachter dieser Arbeit, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. V. Michailov, dem Leiter des Lehrstuhls Füge- und Schweißtechnik, für die stets wohlwollende Unterstützung und den fachlichen Rat, mit denen er diese Arbeit begleitet hat.

Für die Übernahme des zweiten Gutachtens danke ich Prof. Dr.-Ing. B. Viehweger, dem Leiters des Lehrstuhls Konstruktion und Fertigung. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. E. Sarradj, dem Leiter des Lehrstuhls Technische Akustik für die Übernahme des Vorsitzes des Prüfungsausschusses.

Mein Dank gilt auch Dr.-Ing. Ralf Ossenbrink, dem Leiter der Nachwuchsforschungsgruppe “InnoStructure”, der mich ebenfalls durch fachlichen Rat hilfreich unterstützte. Seine kritischen und konstruktiven Anmerkungen haben dazu beigetragen, dass die Arbeit in dieser Form entstehen konnte.

Darüber hinaus bedanke ich mich recht herzlich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls Füge- und Schweißtechnik, die mich bei den zahlreichen Untersuchungen und durch hilfreiche Anregungen und konstruktiver Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit tatkräftig unterstützt haben. Hervorheben möchte ich meine Kollegin und Freundin Katrin Springer (geb. Graf), die mir durch ihre unermüdliche Motivation und Unterstützung eine große Hilfe war.

Besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich in meinem Handeln stets unterstützt und gefördert hat. Außerdem bedanke ich mich bei meinen Freunden und Geschwistern für die Durchsicht der Arbeit. Nicht zuletzt und in ganz besonderem Maße danke ich meinem Lebensgefährten Alexander Haas von dem ich zu jeder Zeit Unterstützung erfahren habe und der mir während meiner Promotionszeit stets den Rückhalt gab, der für die Fertigstellung dieser Arbeit nötig war.

Abstract

In den letzten Jahren gewann der Leichtbau immer mehr an Bedeutung. Strukturierte Bleche besitzen durch ihre erhöhte Steifigkeit im Vergleich zum ebenen Blech ein großes Potential für den strukturellen Leichtbau. Für die Integration von strukturierten Blechen in Konstruktionen ist es erforderlich, komplexe Konturen aus dem Halbzeug zu schneiden. Außerdem ist es notwendig Möglichkeiten zum Fügen dieser Bleche miteinander, sowie mit ebenen Blechen zu erarbeiten.
Das Ziel der vorliegenden Dissertation besteht darin, sowohl Laserstrahl-Schneiduntersuchungen an strukturierten Blechen mit dem Ziel der Herstellung von fügegerechten Schnittkanten, als auch Laserstrahl-Schweißuntersuchungen an strukturierten Blechen mit dem Ziel der Herstellung qualitativ hochwertiger Schweißverbindungen durchzuführen.
Das Hauptproblem besteht dabei in der dreidimensionalen Topologie der Bleche, die Fokuslage und Strahlauftreffwinkel verändert.
Im Rahmen dieser Arbeit wurden Prozessstrategien zur Weiterverarbeitung von strukturierten Blechen mittels Hochfaserlaser aufgezeigt. Die Ergebnisse sollen die Möglichkeiten und Grenzen für das Laserstrahlschneiden und -schweißen von strukturierten Blechen klassifizieren.

Over the past years, the lightweight design gained more and more importance. Structured sheet metals offer a large potential for structural lightweight construction by their increased stiffness in comparison with smooth sheet metals. For the integration of structured sheet metals in welding structures it is necessary to cut complex contours from the semi finished product and to work out joining options for such metals with each other and with smooth sheet metals.
The objective of this dissertation is to investigate laser beam cutting of structured sheet metals, with the goal of producing suitable cutting edges for joining operations, and laser beam welding at structured sheet metals, with the goal of producing high quality welding seams.
The main problem exists in the three-dimensional topology of the sheet metals, which changes the focus location and beam impact angle.
In the context of this work process strategies were identified for processing of structured sheet metals with a high power fiber laser. The results are supposed to classify possibilities and limitations for cutting and welding of structured sheet metals.

Eidesstattliche Erklärung

Die Verfasserin erklärt an Eides statt, dass sie die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als die angegebenen Hilfsmittel angefertigt hat. Die aus fremden Quellen (einschließlich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind ausnahmslos als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Haselünne, den 20.03.2014



Ina Sasse

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **XI**

Tabellenverzeichnis **XIII**

Abkürzungsverzeichnis **XV**

Formelzeichen **XVII**

1 Einleitung **1**

2 Kenntnisstand **3**
2.1 Laser . . . 3
2.2 Laserbearbeitungensanlagen . . . 9
2.3 Technologie des Laserstrahlschneidens . . . 10
2.4 Schnittkantenqualität . . . 14
2.5 Rauheitsmessung . . . 16
2.6 Technologie des Laserstrahlschweißens . . . 18
2.7 Remote-Laserstrahlbearbeitung . . . 21
2.8 Schweißnahtqualität . . . 23
2.9 Mechanisch-technologische Werkstückprüfung . . . 24
2.10 Strukturierte Feinbleche . . . 27
2.11 Schweißeignung der Stahlsorte DC04 . . . 29

3 Schlussfolgerungen und Zielstellung **31**

4 Versuchsdurchführung und Untersuchungsgegenstand **35**
4.1 Versuchseinrichtungen zum Laserstrahlschneiden und -schweißen . . . 36
4.2 Verwendete Prüfeinrichtungen . . . 41

5 Laserstrahlschneiden strukturierter Feinbleche **43**
5.1 Eingrenzung der Schneidparameter . . . 43
5.2 Ermittlung der Schneidparameter . . . 45
5.3 Probeneingrenzung für die Schnittkantenbeurteilung . . . 47
5.4 Geradheitsmessungen . . . 48
5.5 Rauheitsmessungen . . . 52
5.6 Schlussfolgerungen . . . 69

6 Konventionelles Laserstrahlschweißen strukturierter Feinbleche **71**
6.1 Voruntersuchung zur Fokuslage . . . 71
6.2 Schweißparameter . . . 73
6.3 Querzugversuche . . . 79
6.4 Nachweis maximal zulässiger Abweichungen . . . 83

6.5 Schlussfolgerungen 85

7 Remote-Laserstrahlschweißen strukturierter Feinbleche 89
7.1 Verbindungsmöglichkeiten 89
7.2 Nahtgeometrie und Parameter 91
7.3 Nachweis von Abweichungen in Nahtquerrichtung 92
7.4 Scher- und Schälzugversuche 95
7.5 Vergleich mit Widerstandspunktschweißverbindungen 106
7.6 Schlussfolgerungen 112

8 Anwendungs- und Fügeleitfaden 115
8.1 Laserstrahlschneiden 115
8.2 Konventionelles Laserstrahlschweißen 116
8.3 Remote-Laserstrahlschweißen 117

9 Ausblick 119

Literaturverzeichnis 120

Normen und Richtlinien 127

Lebenslauf 129

Anhang 131