

Benjamin Gerhards

**Laserstrahlschweißen
des Stahls 22MnB5**



Aachener Berichte Fügetechnik
Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. U. Reisgen

Band 4/2019

Shaker Verlag

Laserstrahlschweißen des Stahls 22MnB5

Laser Beam Welding of the steel 22MnB5

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen
Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen
Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte
Dissertation

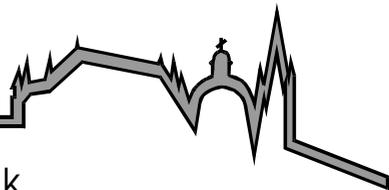
vorgelegt von
Benjamin Gerhards

Berichter: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Uwe Reisgen
 Universitätsprofessor Dr.-Ing. Michael Rethmeier

Tag der mündlichen Prüfung: 05. September 2019

Benjamin Gerhards

**Laserstrahlschweißen
des Stahls 22MnB5**



Aachener Berichte Fügetechnik
Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. U. Reisgen

Band 4/2019

Shaker Verlag

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.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2019)

Copyright Shaker Verlag 2019

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7006-4

ISSN 0943-9358

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

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Reisgen für seine wissenschaftliche und methodische Unterstützung während der gesamten Bearbeitungsphase meiner Dissertation.

Außerdem gilt mein herzlicher Dank Herrn Dr. Simon Olschok, der immer hinter mir gestanden hat und mir die Gelegenheit gab, an hochaktuellen und interessanten Themen zu arbeiten.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts danke ich herzlich für die hervorragende kollegiale – wenn nicht sogar familiäre – Arbeitsatmosphäre. Durch euch habe ich mich in meiner Zeit beim ISF immer wohl gefühlt und bin jeden Tag gerne zur Arbeit gegangen! Besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang Dr. Alexander Schiebahn und den Mitgliedern der Abteilung Strahlschweißen, namentlich Dr. Stefan Longerich, Dr. Stefan Jakobs, Dr. Michael Mavany, Dr. Christoph Turner, Oliver Engels, Niklas Holtum und Fatma Akyel aus der Laserstrahlabteilung, sowie Dr. Christian Otten, Sebastian Ufer, Stephan Klein, Stefan Gach, Aleksej Senger und Thomas Krichel aus der EB-Abteilung. Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang auch alle HiWis, die zuerst teilweise mit mir und danach für mich gearbeitet haben. Ohne eure Unterstützung wäre diese Arbeit wahrscheinlich wesentlich theoretischer ausgefallen.

Herr Malte Schmachtenberg danke ich weiterhin herzlich für die zahlreichen und unermüdlichen Stunden am REM, die die Grundlage für viele Ergebnisse dieser Arbeit darstellen. Den Mitarbeitern der mechanischen Werkstatt danke ich weiterhin für die unzähligen abgearbeiteten Aufträge und stets lustigen Gespräche.

Meine größte Dankbarkeit möchte ich an dieser Stelle allerdings meiner Familie für die unermüdliche Stärkung und Motivierung aussprechen – was würde ich nur ohne euch machen?

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis.....	I
II	Abbildungsverzeichnis.....	IV
III	Tabellenverzeichnis.....	XI
IV	Abkürzungen	XII
V	Formelzeichen.....	XVII
VI	Kurzfassung	XVIII
VII	Abstract.....	XIX
1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	3
2.1	Die mechanischen Eigenschaften von Stählen.....	3
2.1.1	Festigkeitssteigernde Mechanismen der Stähle	3
2.1.1.1	Festigkeitssteigerung durch martensitische Umwandlung	5
2.2	Mangan-Bor-Vergütungsstahl 22MnB5.....	12
2.2.1	Presshärten.....	13
2.2.2	Aluminium-Silizium-Oberflächenbeschichtung.....	14
2.3	Relevante Fügeverfahren – Widerstandspunkt- und Laserstrahlschweißen.....	16
2.3.1	Widerstandspunktschweißen	16
2.3.2	Laser.....	17
2.3.2.1	Modenformen von Laserstrahlquellen	19
2.3.3	Laserstrahlschweißen	20
2.4	Die Wärmeinflusszone von Laserstrahlschweißnähten.....	24
2.4.1	Wirkung der Wärmeinbringung auf ultrahochfeste Stähle.....	25
2.5	Schweißen von presshartem 22MnB5.....	27
2.5.1	Nachbildung von WEZ Gefügen an 22MnB5.....	31
2.5.2	Fügen von 22MnB5 mit Aluminium-Silizium-Beschichtung mit dem Laserstrahl	32

3	Zielsetzung der Dissertation.....	33
4	Versuchsaufbauten und Prüfvorgaben	38
4.1	Parameter und Anlagen für die Laserstrahlschweißversuche.....	38
4.1.1	Parameter der Schweißversuche für 22MnB5 + AlSi150-Beschichtung	39
4.1.1.1	Parameter der Schweißversuche für 22MnB5 + AlSi150 mit modifizierter Strahlpendelung.....	39
4.1.2	Parameter der Schweißversuche zur Vermeidung der Entfestigung durch aktive Kühlung	42
4.1.3	Parameter der Schweißversuche zur Vermeidung der Entfestigung durch Variation der Streckenenergie.....	43
4.1.4	Parameter der Schweißversuche zur Charakterisierung des Gefüges in der WEZ.....	44
4.2	Versuchswerkstoffe.....	45
4.3	Untersuchungsmethoden zur Bewertung der Schweißnähte.....	47
4.3.1	Metallographische Untersuchungen	47
4.3.2	Mechanisch-technologische Untersuchungen	49
4.4	Konstruktion einer Spannvorrichtung für das Schweißen bei Temperaturen bis – 90 °C.....	49
5	Laserstrahlschweißen von 22MnB5+AlSi150	54
5.1	Untersuchung des Einflusses der Beschichtung.....	54
5.1.1	Referenzlaserstrahlschweißungen 22MnB5+AlSi150	55
5.2	Schweißen mit modifizierter Strahlpendelung.....	65
5.2.1	Laserstrahlschweißen mit modifizierter Strahlpendelung und einem Singlemode Faserlaser	69
5.3	Zusammenfassung und Zwischenfazit.....	74
6	Versuche zur Vermeidung der Entfestigung in der WEZ	76
6.1	Laserstrahlschweißen von 22MnB5 mit aktiver Kühlung.....	76
6.2	Laserstrahlschweißen von 22MnB5 mit variierender Streckenenergie.....	82
6.3	Zwischenfazit.....	88

7	Charakterisierung des Gefüges einer Laserstrahl WEZ an presshartem 22MnB5	91
7.1	Analyse des Gefüges in der WEZ	91
7.2	Zusammenfassung und Zwischenfazit	97
8	Bestimmung repräsentativer Temperaturverläufe für einzelne WEZ Bereiche	100
8.1	Ermittlung der für das Laserstrahlschweißen charakteristischen Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten	100
8.2	Korrelation von Anlasstemperatur und Härtewerten in der WEZ	102
8.3	Zusammenfassung und Zwischenfazit	105
9	Nachbildung der Wärmeeinflusszone	107
9.1	WEZ Simulator	107
9.2	Qualifizierung des Turbo WEZ Simulators	110
9.3	Gezielte Gefügeeinstellung	116
9.4	Zusammenfassung und Zwischenfazit	122
10	Zusammenfassung und Ausblick	126
11	Anhang	132
12	Literaturangaben	134