

Beitrag zur Schweißbeignung hoch manganhaltiger Stähle

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur

(Dr.-Ing.)

von Dipl.-Wirtsch.-Ing. Daniel Keil

geb. am 6. Juli 1979

genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter: Herr Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner
Herr Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. Klaus Dilger

Promotionskolloquium am 12. März 2014

Schriftenreihe Fügechnik Magdeburg

Band 1/2014

Daniel Keil

**Beitrag zur Schweißignung
hoch manganhaltiger Stähle**

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.: Magdeburg, Univ., 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 978-3-8440-2942-0

ISSN 1616-7376

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

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoff- und Fügetechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Sven Jüttner sei für die Übernahme der Betreuung der Arbeit sowie für die konstruktive Diskussion gedankt. Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. Klaus Dilger danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens. Auch Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Bernhard Karpuschewski sei für die Übernahme des Vorsitzes des Promotionsausschusses recht herzlich gedankt.

Ein großer Dank geht an Frau Dr.-Ing. Manuela Zinke und Frau Dr.-Ing. Helge Pries für die intensive Betreuung, Unterstützung und konstruktive Diskussion, die wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Des Weiteren danke ich Herrn Dr.-Ing. Jörg Pieschel für die Unterstützung am Institut beginnend mit meiner Diplomandenzeit.

Den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Instituts für Werkstoff- und Fügetechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg als auch des Instituts für Füge und Schweißtechnik der Technischen Universität Braunschweig danke ich für die gute Zusammenarbeit.

Mein besonderer Dank gilt meiner lieben Bürokollegin Dipl.-Wirtsch.-Ing. Carolin Fink sowie allen weiteren Freunden, Kollegen und Studierenden am Institut, die mich über die Jahre begleitet und unterstützt haben. Ihr habt mir die Zeit unvergesslich gemacht.

Meinen persönlichen Dank möchte ich meinen Eltern Annemarie und Gerald Keil dafür aussprechen, dass sie mir die Ausbildung ermöglicht und immer an mich geglaubt haben.

Teile dieser Arbeit wurden über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) und aus den Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert. Für die Unterstützung sei gedankt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VIII
Verzeichnis der Formelzeichen und Abkürzungen	IX
1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Grundlagen hoch manganhaltiger TWIP-Stähle	3
2.1.1 Werkstoffentwicklung	3
2.1.2 Verformungs- und Verfestigungsverhalten/-mechanismen	4
2.2 Schweißseignung hoch manganhaltiger TWIP-Stähle	10
2.2.1 Einfluss der Legierungselemente auf die Gefügeausbildung und die schweißtechnische Verarbeitung der Fe-Mn-Stähle	12
2.2.2 Heißrissbildung und -prüfung	15
2.2.3 Flüssigmetallinduzierte Rissbildung (LME)	21
3 Aufgabenstellung und Begründung der Werkstoff- und Verfahrensauswahl	30
4 Versuchskonzept und -planung	31
4.1 Versuchswerkstoffe	31
4.1.1 Grundwerkstoffe	31
4.1.2 Zusatzwerkstoffe	33
4.2 Versuchsprogramm	34
4.2.1 Ausscheidungs- und Umwandlungsverhalten	34
4.2.2 Heißrissprüfung	36
4.2.3 MAG-Schweißen	38
4.2.4 Laserstrahlschweißen	41
4.3 Geräte- und Messtechnik zum Schweißen	42
4.3.1 MAG-Schweißen	42
4.3.2 Laserstrahlschweißen	43
4.4 Prüftechnik	43
4.4.1 Zerstörungsfreie Prüfung	43
4.4.2 Messung magnetisierbarer Phasenanteile	44
4.4.3 Metallographische Untersuchungen	44
4.4.4 Elektronenstrahlmikroskopie	46
4.4.5 Gleeble® 3500	47
4.4.6 Mechanisch-technologische Prüfungen	47
4.4.7 Thermo-physikalische Eigenschaften	49
5 Ergebnisse und Diskussion	50
5.1 Grundlegende metallkundliche Untersuchungen	50
5.1.1 Charakterisierung der Grundwerkstoffe im Anlieferungszustand	50
5.1.2 Ausscheidungs- und Umwandlungsverhalten	59
5.2 Heißrissneigung der Fe-Mn-Stähle	65

5.2.1	Fremdbeanspruchte Probe – PVR-Test	65
5.2.2	Selbstbeanspruchende Probe – Lap Joint Test	67
5.3	MAG-Schweißen	74
5.3.1	Artgleiche Verbindungen	74
5.3.2	Mischverbindungen	80
5.3.3	MAG-Schweißen in umgeformten Bereichen / am Demonstrator	90
5.4	Laserstrahlschweißen	95
5.4.1	Artgleiche Verbindungen	95
5.4.2	Mischverbindungen im Stumpfstoß	99
5.4.3	Querzugversuche der I-Nähte	105
5.4.4	Laserstrahlschweißen am Überlappstoß	106
5.4.5	Umformverhalten von laserstrahlgewweißten Nähten	109
6	Zusammenfassung und Ausblick	114
	Literatur	118
	Lebenslauf	126
	Liste der Veröffentlichungen über Teilgebiete der Dissertation	127