

Einfluss der Mikrostruktur auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften beim Elektronenstrahlfügen von Stahl an Aluminiumlegierungen

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

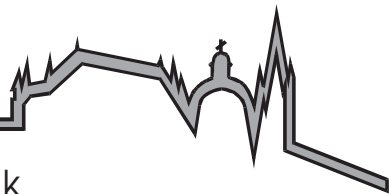
von
Christian Otten

Referent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. U Reisgen
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. J. Mayer

Tag der mündlichen Prüfung: 21. August 2015

Christian Otten

**Einfluss der Mikrostruktur auf die
mechanisch-technologischen Eigen-
schaften beim Elektronenstrahlfügen
von Stahl an Aluminiumlegierungen**



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

Band 1/2015

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, 2015)

Copyright Shaker Verlag 2015

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3957-3

ISSN 0943-9358

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

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Elektronenstrahlschweißen des Institutes für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Dem Institutsleiter Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisgen danke ich herzlich für die sehr gute Betreuung der Arbeit und die hervorragende fachliche Begleitung meiner gesamten Tätigkeit am ISF. Mein Dank gilt auch dem zweiten Berichter Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Joachim Mayer und Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Peter Loosen für den Prüfungsvorsitz.

Weiter möchte ich dem gesamten Kollegium am ISF für die außergewöhnlich gute Arbeitsatmosphäre danken. Ganz besonderer Dank gilt hierbei Karl Horst Ring und Manuela Langohr für die Schliffpräparation und die gemeinsame Zeit beim metallografischen Fachsimpeln vor dem Lichtmikroskop, Xaver Rexhepaj und dem gesamten Team der Werkstatt für die oft unkomplizierte und stets einwandfreie Anfertigung der Vorrichtungen und Versuchsproben.

Meinen Diplom- und Masterarbeitern und späteren Kollegen Johannes Schönberger, Stefan Gach und Martin Christ möchte ich für die freundschaftliche Zusammenarbeit sowie für die ausgezeichneten Forschungsergebnisse danken. Weiterer Dank gilt Malte Schmachtenberg für die unzähligen Stunden vor dem Rasterelektronenmikroskop sowie Rahul Sharma der für mich erste Anlaufstelle bei Fragen der Materialwissenschaft war.

Meiner gesamten Abteilung, aber ganz besonders Stephan Klein, Isabel Georgi, Sebastian Ufer Aleksij Senger, Christoph Turner und Stefan Jakobs, möchte ich für die fantastische Zusammenarbeit, die tollen (Fach-) Diskussionen und die geselligen Feierabendbierrunden meinen herzlichen Dank aussprechen.

Ein großer Dank gilt meinen Eltern und Geschwistern, für die Unterstützung und Förderung meiner beruflichen Karriere und meines gesamten Lebensweges.

Von ganzem Herzen möchte ich meiner Frau Sarah und meiner Tochter Helena danken, die mich mit sehr großem Verständnis und viel Liebe während dieser aufwendigen Zeit unterstützt und ermutigt haben. Ihnen ist dieses Buch gewidmet.

Aachen, den 13.09.2015

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis.....	I
II	Abbildungsverzeichnis	III
III	Tabellenverzeichnis	VIII
IV	Abkürzungen	IX
V	Formelzeichen.....	XI
1	Einleitung	1
2	Grundlagen und Stand der Forschung	3
2.1	Elektronenstrahlschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen	3
2.1.1	Verfahrensbeschreibung	3
2.1.2	Schmelzbadströmungen und Einfluss des Umgebungsdruckes	6
2.1.3	Prozessrelevante Parameter	12
2.2	Fügen von Stahl an Aluminium	20
2.2.1	Oberflächennahe Effekte.....	20
2.2.2	Diffusion in Festkörpern	22
2.2.3	Metallurgische Grundlagen zum Fügen von Stahl an Aluminium.....	27
2.2.4	Fügetechniken und Wachstumskinetik der intermetallischen Phasen.....	33
3	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	40
4	Versuchsbedingungen	41
4.1	Werkstoffe	41
4.1.1	Aluminium und Aluminiumlegierung	41
4.1.2	Stahl.....	46
4.2	Versuchsaufbau und Methodik	49
4.2.1	Verwendete Anlagen-und Spanntechnik	49
4.2.2	Methoden der Materialcharakterisierung	52
4.2.3	Methoden zur Ermittlung der mechanisch-technologischen Eigenschaften	55
5	Fügen von Stahl an Aluminium	57

5.1	Identifikation der prozessrelevanten Größen	57
5.1.1	Versuchsdurchführung	57
5.1.2	Temperaturmessungen	60
5.1.3	Charakterisierung Mikrostruktur und der mechanisch-technologischen Eigenschaften.....	63
5.1.4	Diskussion und Zusammenfassung.....	73
5.2	Einfluss des Temperaturverlaufes auf Mikrostruktur und mechanisch-technologische Eigenschaften	76
5.2.1	Versuchsdurchführung und Temperaturmessungen.....	76
5.2.2	Mikrostruktur der Schweißverbindung	78
5.2.3	Mechanisch-Technologische Eigenschaften.....	89
5.2.4	Diskussion und Zusammenfassung.....	93
5.2.5	Modell zum Phasenwachstum.....	94
5.3	Einfluss einer Zinkbeschichtung	96
5.3.1	Versuchsdurchführung	96
5.3.2	Mikrostruktur der Schweißverbindung	97
5.3.3	Biegefestig der Verbindung	101
5.4	Einfluss der chemischen Elemente Magnesium und Silizium	104
5.4.1	Versuchsdurchführung	104
5.4.2	Temperaturmessungen	105
5.4.3	Charakterisierung der Mikrostruktur	106
5.4.4	Diskussion und Zusammenfassung.....	111
6	Zusammenfassung und Ausblick	114
7	Literaturverzeichnis	117