

Magnetpulsschweißen von Aluminium und Stahl – Einflüsse der Topografie auf Ver- bindungsausbildung und Festigkeit

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

Vorgelegt im Fachbereich Maschinenbau
der Universität Kassel

Von Markus Heinrich Geyer

Kassel, 19.03.2015

Fortschrittsberichte aus der Produktionstechnik

Band 5

Markus Heinrich Geyer

Magnetpulsschweißen von Aluminium und Stahl

Einflüsse der Topografie auf
Verbindungsbildung und Festigkeit

D 34 (Diss. Univ. Kassel)

Shaker Verlag
Aachen 2016

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.: Kassel, Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2016

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4185-9

ISSN 2195-5670

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 Dissertation entstand während meiner Tätigkeit am Fachgebiet für Trennende und Fügende Fertigungsverfahren des Instituts für Produktionstechnik und Logistik an der Universität Kassel.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm für die langjährige vertrauensvolle Zusammenarbeit am Fachgebiet und für die Unterstützung während der Anfertigung dieser Dissertation.

Des Weiteren möchte ich Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche der Universität Darmstadt für die Übernahme der Begutachtung und Durchsicht der Dissertation danken.

Mein weiterer Dank gilt den Teilnehmern der Prüfungskommission Prof. Dr.-Ing. Berthold Scholtes und Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier.

Zudem bedanke ich mich bei meinen Kollegen des Instituts und im Besonderen des Fachgebietes für das kollegiale und vertrauensvolle Verhältnis und die gute Zusammenarbeit. Mein weiterer Dank gilt den vielzähligen wissenschaftlichen Hilfskräften und studentischen Hilfskräften, die mich tatkräftig bei der Versucherstellung und Auswertung unterstützt haben.

Zu guter Letzt gilt mein Dank meinen Eltern, welche mich mein Leben lang unterstützt und mir meinen Lebensweg ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Inhaltsverzeichnis	II
0 Kurzfassung	1
1 Einleitung	5
1.1 Motivation: Leichtbau	5
1.2 Verbindungstechniken zur Al/St-Mischbauweise	6
1.3 Potential des Magnetspulsschweißens	7
1.3.1 Vorteile	7
1.3.2 Nachteile	8
1.4 Aufbau der Arbeit	8
2 Systemtechnik	10
2.1 Grundlagen der Systemtechnik	10
2.2 Blechschweißpule	12
2.3 Magnetischer Druck	13
3 Verbindungsbildung beim Aufschlagschweißen	15
3.1 Geometrie des asymmetrischen Aufschlages	16
3.2 Jetbildung und -eigenschaften	17
3.3 Schweißbereiche	19
3.4 Modelle der unteren Schweißgrenze	21
3.5 Druckverlauf im Kollisionspunkt	24
3.6 Zusammenfassung	25
4 Blechschweißen durch MPS und EXW	26
4.1 Schweißkonfiguration	26
4.2 Vergleich der Prozessparameter	28
4.3 Verbindungsbildung und Interface beim MPS	29
4.3.1 Schweißfenster	29
4.3.2 Interfaceveränderung beim MPS	29
4.4 Prozessvarianten für das MPS von Blechen	31
4.5 Fertigungsbedingungen	34
4.6 Artungleiche Schweißungen	34

4.7	Zusammenfassung	35
5	Explosionsschweißen von Aluminium und Stahl.....	36
5.1	Schweißfenster und Interfacemorphologie	36
5.2	Schweißbarkeit von Al/St-Verbindungen.....	40
5.3	Interfaceeigenschaften.....	41
5.4	Einfluss einer Wärmebehandlung	44
5.5	Zusammenfassung	45
6	Magnetpulsschweißen von Al/St.....	46
6.1	Schweißfenster und Interfacemorphologie	46
6.2	Festigkeit und Interfaceeigenschaften	49
6.3	Zusammenfassung	50
7	Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise.....	51
8	Versuchsbeschreibung und Methodik.....	54
8.2	Probenbearbeitung und Charakterisierung.....	55
8.2.1	Bearbeitungsverfahren.....	56
8.2.2	Messtechnik	56
8.2.3	Schweißmaschine und Spule.....	56
8.2.4	Probenbearbeitung	58
8.2.5	Kennwertermittlung und Systematik	59
8.2.6	Auswertungssoftware.....	60
9	Experimente und Ergebnisse	62
9.1	Ermitteln des Schweißprozessfensters	63
9.2	Ermitteln einer relativen Grundgesamtheit	65
9.2.1	Schweißnahtmerkmale	66
9.2.2	Festigkeitskennwerte	67
9.2.3	Statistik der ermittelten Merkmale.....	68
9.3	Einfluss unterschiedlicher Vorbehandlungen	70
9.3.1	Schweißnahtmerkmale	72
9.3.2	Festigkeitskennwerte	74
9.3.3	Vergleich der unterschiedlichen Vorbehandlungen	75
9.4	Einfluss der Kornorientierung	77
9.4.1	Schweißnahtmerkmale	77
9.4.2	Festigkeitskennwerte	78
9.5	Dauerfestigkeit von magnetpulsgeschweißten Blechen... 79	
9.6	Zusammenfassung	83
10	Vereinfachtes Modell des Schweißprozesses.....	84

10.1	Aufprallgeometrie	84
10.2	Kollisionspunktgeschwindigkeit	87
10.3	Jetdicke	88
10.4	Druckbreite	89
11	Diskussion	91
11.1	Schweißprozessfenster	91
11.2	Relative Grundgesamtheit	93
11.3	Einfluss unterschiedlicher Vorbehandlungen	95
11.4	Einfluss der Kornorientierung	102
11.5	Dauerfestigkeit von magnetplusgeschweißten Blechen	105
12	Fazit und Ausblick	106
12.1	Fazit	106
12.2	Ausblick	107
	Literaturverzeichnis	V
	Abkürzungsverzeichnis	XV
	Symbolverzeichnis	XVI
	Formelverzeichnis	XVIII
	Abbildungsverzeichnis	XIX
	Tabellenverzeichnis	XXII