

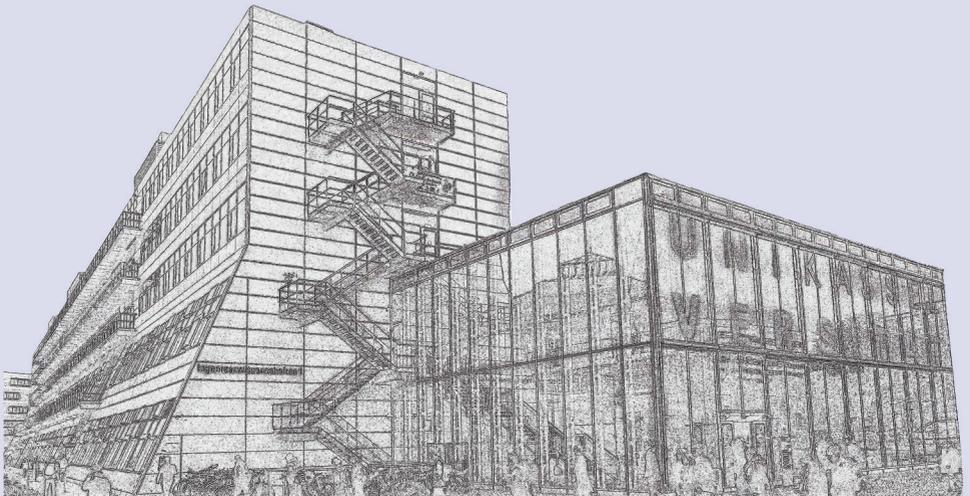
Fortschrittsberichte aus der Produktionstechnik

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm

Band 20

Marcel Hatzky

Untersuchung und Charakterisierung der Prozess-, Eigenschaftsverhältnisse beim Rührreibschweißen mit Mehrstiftwerkzeugen



Fortschrittsberichte aus der Produktionstechnik

Herausgegeben von:
Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm
Universität Kassel

Band 20

Marcel Hatzky

**Untersuchung und Charakterisierung der Prozess-,
Eigenschaftsverhältnisse beim Rührreibschweißen
mit Mehrstiftwerkzeugen**

D 34 (Diss. Univ. Kassel)

Shaker Verlag
Düren 2022

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., 2022

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Maschinenbau der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm,
(Universität Kassel)
Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Ghazal Moeini,
(Westfälische Hochschule Gelsenkirchen)
Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier,
(Universität Kassel)
Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach,
(Universität Kassel)

Tag der mündlichen Prüfung: 05.09.2022

Copyright Shaker Verlag 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8780-2

ISSN 2195-5670

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 Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Rührreibschweißen am Fachgebiet Trennende und Fügende Fertigungsverfahren des Institutes für Produktionstechnik und Logistik an der Universität Kassel.

Mein besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm für die Übernahme der Betreuung der Dissertation. Durch das entgegengebrachte Vertrauen, die geschaffenen Möglichkeiten und Randbedingungen war es mir möglich, diese Arbeit zielgerichtet anzufertigen. Die vielen Ideen, Hinweise und konstruktiven Gespräche haben diese Dissertation maßgeblich geprägt. Frau Prof. Dr.-Ing. Ghazal Moeini danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens. Der gedankliche Austausch, die vielen Bemerkungen sowie die stets netten, motivierenden Worte haben einen äußerst positiven Effekt bei der Erstellung dieser Arbeit gehabt. Ferner bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach für die Teilnahme an der Prüfungskommission.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Andreas Nau-Grede für die Unterstützung bei der Durchführung der Prüfungen sowie den durchweg spannenden gedanklichen Austausch bedanken. Darüber hinaus gilt mein Dank Herrn Dr.-Ing. Alexander Liehr für die Hilfe bei der Durchführung und Auswertung der Eigenspannungsmessungen.

Ein großer Dank geht auch an meine langjährigen Mitarbeiter Herrn Martin Trost sowie Herrn Tobias Mühlbauer für die Unterstützung der experimentellen Untersuchungen. Ebenfalls gebührt mein Dank meinen studentischen Abschlussarbeitern für ihr großes Interesse an der Thematik sowie ihren Tatendrang über ihre eigene Arbeit hinaus. Weiterhin möchte ich mich bei allen technischen und wissenschaftlichen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Fachgebiets Trennende und Fügende Fertigungsverfahren für die kollegiale Zusammenarbeit, die wertvollen Tipps sowie die angenehme Zeit am Fachgebiet bedanken.

Mein persönlicher Dank gilt meiner Schwester Frau Dipl. Jur. Sabrina Hatzky, meinen langjährigen Freunden Herrn Dipl. Ing. Inf. (FH) Yves Wedekind, Herrn Hirak Solanki, M.Tech, LL.M (IP). sowie Herrn Dr.-Ing. Jochen Oster für den interdisziplinären Austausch, das Korrekturlesen der Dissertation sowie die aufmunternden Worte in den arbeits- und zeitintensiven Phasen.

Meinen Eltern Margarete und Dirk Hatzky danke ich für die Ermöglichung der umfassenden Ausbildung, die vielen Gespräche sowie den unermüdlichen Glauben an meine Person. Ihnen widme ich diese Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Inhaltsverzeichnis	III
Kurzfassung	1
Abstract	3
1 Einleitung und Motivation	5
2 Grundlagen und Stand der Technik	11
2.1 Rührreibschweißen	11
2.1.1 Verfahrensprinzip und Fügenahtausbildung	13
2.1.2 Einflussgrößen auf den Schweißprozess.....	17
2.1.3 Schweißwerkzeuge	18
2.1.4 Prozessparameter	24
2.1.5 Prozessrückwirkungen	27
2.1.6 Schweißnahtunregelmäßigkeiten.....	28
2.2 Störgrößen beim Rührreibschweißen	33
2.2.1 Fügespalte	33
2.2.2 Falsch eingestellter oder verschlissener Schweißstift ..	35
2.2.3 Seitlicher Versatz des Werkzeugs	35
3 Problemstellung und Ziel der Arbeit	37
4 Versuchsaufbau und -durchführung	39
4.1 Fügwerkstoffe	39
4.1.1 Aluminiumlegierung EN AW 5083 H111	40
4.1.2 Aluminiumlegierung EN AW 7020 T651	42
4.2 Verwendete Rührreibschweißanlage	44
4.2.1 Kraftmessung	47
4.2.2 Temperaturmessung.....	49
4.2.3 Spannvorrichtung	50
4.2.4 Einstellung des Fügespalts	52
4.2.5 Variation der Schweißstiftlänge	53
4.2.6 Einstellung eines Spaltversatzes	53

4.3	Charakterisierung von Schweißverbindungen	53
4.3.1	Sichtprüfung	53
4.3.2	Probenentnahme.....	54
4.3.3	Zugprüfung.....	54
4.3.4	Mikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie	55
4.3.5	Härteprüfung	56
4.3.6	Dreipunkt-Biegeprüfung	57
4.3.7	Computertomographie	57
4.3.8	Bohrlochmethode	58
4.4	Schweißwerkzeuge und deren Schweißparameter.....	58
4.4.1	Aufbau und geometrische Größen der Werkzeuge	59
4.4.2	Parametereinstellung der Mehrstiftwerkzeuge.....	61
4.4.3	Schweißparameter	65
5	Untersuchung der veränderten Temperaturverteilung	67
5.1	Untersuchung der vertikalen und horizontalen Temperaturverteilung	67
5.1.1	Vertikale Temperaturverteilung im Fügwerkstoff	67
5.1.2	Temperatur an Werkzeugschulter und -stift.....	72
5.1.3	Horizontale Temperaturverteilung im Fügwerkstoff	74
5.2	Fazit und Diskussion der Untersuchung der veränderten Temperaturverteilung	77
6	Erhöhung des Materialflusses.....	79
6.1	Veränderung der Durchmischung	79
6.1.1	Veränderung der Kräfte und Momente	79
6.1.2	Untersuchung der feineren Materialdurchmischung	83
6.1.3	Eigenspannungsmessungen.....	86
6.2	Vergleich des horizontalen und vertikalen Wirkungsbereichs .	88
6.2.1	Analyse des Wirkungsbereichs anhand von Schlibfbildern ...	88
6.2.2	Härtemappings an Stumpfstoßschweißungen	90
6.2.3	EBSD Analyse.....	91

6.3	Vergleich der mechanischen Eigenschaften.....	92
6.3.1	Zugfestigkeiten, Biegefestigkeiten und Querschlitze.....	92
6.4	Fazit und Diskussion der Erhöhung des Materialflusses .	97
7	Verbesserung der FSW Prozessrobustheit.....	101
7.1	Verbesserung der Spaltüberbrückbarkeit	101
7.1.1	Schweißungen EN AW 5083 H111 mit Spalten.....	101
7.1.2	Schweißungen EN AW 7020 T651 mit Spalten	104
7.2	Einsatz des Mehrstiftwerkzeugs als Mehrbereichswerkzeug	106
7.2.1	Mehrbereichsschweißungen an EN AW 5083 H111...	107
7.2.2	Mehrbereichsschweißungen an EN AW 7020 T651 ...	108
7.3	Einfluss des seitlichen Versatzes des Werkzeugs zum Fügestoß	111
7.3.1	Zugfestigkeiten und Dehnungen	112
7.3.2	Schliffbilder und Bruchproben	113
7.4	Fazit und Diskussion der Verbesserung der FSW Prozessrobustheit.....	116
8	Zusammenfassung und Ausblick	119
8.1	Zusammenfassung	119
8.2	Ausblick	125
	Abkürzungsverzeichnis	VII
	Symbolverzeichnis	IX
	Abbildungsverzeichnis	XI
	Tabellenverzeichnis.....	XV
	Liste der Veröffentlichungen über Teilgebiete der Dissertation....	XVII
	Betreute studentische Arbeiten	XIX
	Literaturverzeichnis.....	XXI