

Untersuchungen des Verbundverhaltens von thermisch direkt gefügten Metall-Kunststoffverbindungen unter ver- änderlichen Umgebungsbedingungen

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

vorgelegt von

Sven Scheik

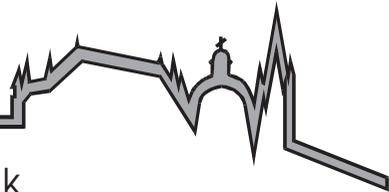
Berichter: Univ.-Prof Dr.-Ing Uwe Reisgen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann

Tag der mündlichen Prüfung: 26.01.2016

Sven Scheik

**Untersuchungen des Verbund-
verhaltens von thermisch direkt
gefügten Metall-Kunststoff-
verbindungen unter veränderlichen
Umgebungsbedingungen**



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

Band 1/2016

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, 2016)

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 978-3-8440-4293-1

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

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

Die Erstellung der Arbeit war der Abschluss einer interessanten und lehrreichen Zeit an der Universität bei der ich viele nette Kollegen und Freunde kennen lernen durfte, die mich während der Promotionszeit und zum Teil darüber hinaus unterstützt haben. Diesen Personen möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

Zunächst möchte ich mich beim Leiter des Instituts, Herrn Prof. Dr.-Ing. U. Reisgen, bedanken, der mir ermöglichte meine Arbeiten an seinem Institut durchzuführen. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann für die Übernahme des Koreferates sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Schröder für den Vorsitz des Promotionsverfahrens.

Einen besonderen Dank richte ich an Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Schleser für die intensiven fachlichen Diskussionen und meine akademische Weiterbildung in unserer gemeinsamen Zeit am Institut sowie für die Korrektur meiner Arbeit. Weiterhin möchte ich mich bei Dipl.-Ing. Alexander Schiebahn und Dipl.-Ing. Jens Schoene für die gemeinsamen kreativen Diskussionen und die freundschaftliche und außerordentlich gute Arbeitsatmosphäre bedanken. Auch den zahlreichen studentischen Hilfskräften sowie Studien- und Abschlussarbeitern und allen weiteren Mitarbeitern und Arbeitsgruppen des ISF danke ich für ihre Unterstützung.

Mein größter Dank gilt meiner Frau Sabrina Scheik. Ohne ihren Rückhalt in den letzten Jahren hätte ich sicherlich nicht die Zeit und Muße gefunden die Arbeit zu Ende zu führen. Ebenso bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern für die Ermöglichung meiner gesamten akademischen Laufbahn.

Zuletzt danke ich meiner Tochter Marla-Sophie und meinem Sohn Joshua, dass sie nachts stets ausschließlich meine Frau aufwecken und mir somit zu ausreichend Schlaf und damit produktiven Arbeitstagen verhelfen konnten.

INHALTSVERZEICHNIS

I	BILDERVERZEICHNIS	3
II	TABELLENVERZEICHNIS	6
III	FORMEL UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1	EINLEITUNG	9
2	STAND DER TECHNIK	11
2.1	VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON METALL-KUNSTSTOFFVERBINDUNGEN	11
2.1.1	<i>Verbindung durch einen urformenden Prozess</i>	11
2.1.2	<i>Verbindung durch mechanische Hilfselemente</i>	12
2.1.3	<i>Verbindung durch Stoffschluss</i>	16
2.1.3.1	Bindungen beim Stoffschluss	16
2.1.3.2	Ansätze zur Erklärung der Haftung	19
2.1.3.3	Kleben	23
2.1.3.4	Thermisches Direktfügen.....	24
2.2	UNTERSUCHUNGEN ZUM VERBUNDVERHALTEN THERMISCH DIREKTGEFÜGTER METALL-KUNSTSTOFFVERBINDUNGEN	31
2.3	OBERFLÄCHENVORBEHANDLUNGEN	33
2.3.1	<i>Mechanische Oberflächenvorbehandlung</i>	33
2.3.2	<i>Physikalisch/chemische Oberflächenvorbehandlung</i>	34
2.4	ALTERUNG VON METALL-KUNSTSTOFFVERBINDUNGEN	35
2.4.1	<i>Beständigkeit von Kunststoffen (Polyamid, Epoxidharz)</i>	35
2.4.2	<i>Beständigkeit der verwendeten Metalle</i>	39
2.4.2.1	Passivität der verwendeten Metalle.....	39
2.4.2.2	Korrosionsverhalten der verwendeten Metalle	39
2.4.3	<i>Alterungsverhalten an der Grenzfläche Kunststoff/Metall</i>	41
2.4.4	<i>Alterungsuntersuchungen thermisch direktgefügteter Metall- Kunststoffverbindungen</i>	43
3	MOTIVATION UND ZIELSETZUNG	45
4	METHODIK	49
5	VERSUCHSAUFBAU UND UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	53
5.1	VERWENDETE MATERIALIEN	53
5.1.1	<i>Aluminium</i>	53
5.1.2	<i>Edelstahl, rostfrei</i>	54
5.1.3	<i>Polyamid</i>	55
5.1.4	<i>PBT</i>	56
5.1.5	<i>Epoxidharzklebstoff</i>	56

5.2	VERSUCHSAUFBAUTEN UND VERWENDETE ANLAGENTECHNIK.....	57
5.2.1	<i>Induktionsfügen</i>	57
5.2.2	<i>Kleben</i>	60
5.2.3	<i>Atmosphärendruckplasmabehandlung</i>	61
5.2.4	<i>CMT-Pinschweißen</i>	61
5.2.5	<i>Elektronenstrahlstrukturierung</i>	63
5.2.6	<i>Alterungs- und Prüfeinrichtungen</i>	64
5.3	VERBUNDVERHALTEN THERMISCH GEFÜGTER METALL-KUNSTSTOFF- VERBINDUNGEN	67
5.3.1	<i>Versagensverhalten thermisch gefügter Metall-Kunststoffverbindungen</i> .	67
5.3.2	<i>Identifikation der maßgeblichen Einflussgrößen</i>	69
5.3.2.1	Temperatur.....	69
5.3.2.2	Druck	73
5.3.2.3	Oberflächenvorbehandlung	77
5.3.2.4	Chemische/Physikalische Einflussgrößen des Kunststoffes	86
5.3.3	<i>Alterungsverhalten thermisch gefügter Metall-Kunststoffverbindungen</i> ...	89
5.3.3.1	Einfluss von Temperaturwechselbeanspruchung mit zusätzlicher Feuchtigkeitseinwirkung	90
5.3.3.2	Einfluss von Feuchtigkeit auf das Verbundverhalten thermisch gefügter Metall-Kunststoffverbindungen im Zugscherversuch.....	96
5.3.3.3	Einfluss korrosiver Medien auf das Verbundverhalten von Zugscherproben	99
5.3.3.4	Einfluss der Haftfestigkeit auf den Widerstand gegen Alterung/Korrosion.....	101
5.3.3.5	Einfluss des Klebstoffgrundmaterials auf die Alterungsuntersuchungen	103
5.3.3.6	Fazit zum Alterungsverhalten thermisch direktgefügter Metall- Kunststoffverbindungen.....	104
6	KRITISCHE BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	107
7	ENTWICKLUNG EINES ALTERNATIVEN FÜGEPROZESSES AUF BASIS DER WIDERSTANDSERWÄRMUNG	111
7.1	SPIEGELUNG DES POTENTIALS AN INDUSTRIELLEN ANFORDERUNGEN UND ABLEITUNG VON ANWENDUNGSSZENARIEN IM FAHRZEUGBAU	111
7.2	VORVERSUCHE AN EINEM PROTOTYPENWERKZEUG	114
8	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	117
9	LITERATURVERZEICHNIS	121