

Prof. Dr.-Ing. Gerson Meschut
Dr.-Ing. Vitalij Janzen

Weiterentwicklung des einstufigen Widerstands- elementschweißens

Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Füge­technik

Band 156

**Gerson Meschut
Vitalij Janzen**

**Weiterentwicklung des einstufigen
Widerstandselementschweißens**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Düren 2021

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.: Paderborn, Univ., Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2021

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8346-0

ISSN 1434-6915

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

Kurzfassung

Zur effizienten Umsetzung von Leichtbaustrategien durch Mischbauanwendungen im Karosseriebau heutiger Automobilproduktion bedarf es geeigneter Füge-technologien. Die Fertigungslinien der Kleinwagen- und Mittelklasse sind größtenteils auf das punktuelle Fügen mittels Widerstandspunktschweißen in Kombination mit dem Kleben ausgerichtet. Eine Weiterentwicklung des Widerstandspunktschweißens für Mischbauanwendungen verspricht daher besonders großes Potenzial zum technologischen und wirtschaftlichen Erfolg. Die sich in der Entwicklung befindenden einstufigen Prozessvarianten des Widerstandselementschweißens erfüllen noch nicht die Anforderungen an eine Karosseriebaufügetechnologie.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, das einstufige Widerstandselementschweißen zu einem anwendungsgerechten Fügeprozess unter Berücksichtigung fertigungs- und fügeprozessspezifischer Anforderungen des Karosseriebaus weiterzuentwickeln. Dazu erfolgen die Auslegung eines idealen Warmeinpräge- und Schweißprozesses sowie eine Hilfsfügeteilweiterentwicklung. Das Schweißverhalten sowie die erreichbaren Verbindungsmerkmale und -eigenschaften werden charakterisiert.

Abstract

Due to the prominent goal of reducing fuel emissions, the automotive industry in recent years is facing the challenge of maintaining cost effective body-in-white (BIW) production solutions in a flexible customer demand environment. For BIW production joining processes, the ability to reliably join lightweight aluminum/steel structures in various areas of the vehicle structure while achieving location specific requirements becomes a vital objective. Today's existing lightweight joining technologies cannot fulfill all modern BIW concepts simultaneously. Resistance element welding leverages the benefit of giving automotive OEMs the ability to use the already existing equipment, processes, and body of knowledge while still achieving light-weighting requirements.

The aim of this work is to develop resistance element welding to an user friendly joining technology under consideration of application oriented requirements. For this purpose, the embossing and welding process was characterized. A numerically developed and optimized element was used to completely absorb the displaced aluminum in the element head's groove. Additionally, the welding behavior with a focus to the joining features was characterized and the joining strength was determined.

Liste der Veröffentlichungen

Teilergebnisse dieser Arbeit sind in folgenden Veröffentlichungen erschienen:

Meschut, G.; Günter, H.; Janzen V.: Vorlochfreies Fügen stahlintensiver Leichtbaustrukturen durch vorkonfektioniertes und selbststanzendes Widerstandselementschweißen. In: Tagungsband des 7. Fügetechnischen Gemeinschaftskolloquiums, FOSTA-EFB-DVS, 12.-13. Dezember 2017 (ISBN 978-3-86776-519-0)

Meschut, G.; Janzen, V.: Optimierung der Prozesskette und der Verbindungseigenschaften beim Widerstandselementschweißen von Mischbauverbindungen für Leichtbaukarosseriestrukturen. In: Tagungsband 23. DVS-Sondertagung Widerstandsschweißen, DVS-Berichte Band 326, Duisburg, 29.-30. Juni 2016 (ISBN 978-3-945023-75-4)

Meschut, G.; Hahn, O.; Janzen, V.: Technologie-Benchmark zum vorlochfreien Widerstandselementschweißen auf konventionellen Widerstandspunktschweißanlagen. In: Abschlussbericht zur FOSTA KMU-Kurzstudie Nr. P1001 der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 2013 (ISBN 978-3-942541-82-4)

Meschut, G.; Hahn, O.; Janzen, V.: Technologie-Benchmark zum vorlochfreien Widerstandselementschweißen auf konventionellen Widerstandspunktschweißanlagen. In: Tagungsband des 3. Fügetechnischen Gemeinschaftskolloquiums, FOSTA-EFB-DVS, Rostock, 10.-11. Dezember 2013 (ISBN 978-3-86776-415-5)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	III
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Mischbauweise im automobilen Karosseriebau	3
2.2 Fügen von höchstfesten Stählen mit Aluminium im automobilen Umfeld	4
2.3 Vorlochfreies mechanisches Fügen von höchstfesten Stählen mit Aluminium	6
2.4 Thermisch-mechanisches Fügen von höchstfesten Stählen mit Aluminium	10
2.4.1 Reibelementschweißen	10
2.4.2 Widerstandspunktschweißen mit Hilfsfügeteilen	12
2.5 Fügeprozesssimulation mittels FEM	26
2.6 Füge technisches Entwicklungspotenzial	26
3 Problemstellung und Zielsetzung	27
4 Versuchswerkstoffe und -einrichtungen	31
4.1 Fügeteilwerkstoffe	31
4.2 Füge- und Fertigungseinrichtungen	33
4.3 Probengeometrien, Prüf- und Auswertungsmethoden	36
5 Voruntersuchung des Warmeinpräge- und Schweißprozesses	41
5.1 Vorüberlegungen	41
5.2 Ermittlung von Fügeparametern und Analyse der Verbindungscharakteristik	43
5.3 Untersuchungen zum Tragverhalten	47
5.4 Resultat der Voruntersuchung	49
6 Realisierung eines optimierten Fügeprozesses	53
6.1 Optimierung der Hilfsfügeteilgeometrie mittels numerischer Simulation	53
6.1.1 Aufbau des FE-Modells	53
6.1.2 Validierung des FE-Modells	57

6.1.3	Optimierung des Hilfsfügeteiles	59
6.1.4	Hilfsfügeteilherstellung.....	63
6.2	Realisierung einer Haltevorrichtung	64
6.2.1	Entwurf	64
6.2.2	Ausarbeitung	65
7	Entwicklung des Fügeprozesses.....	69
7.1	Fügeprozessablauf.....	69
7.2	Bewertungskriterien für den gesamten Fügeprozess	71
7.3	Analyse und Charakterisierung des Warmeinprägeverhaltens	73
7.4	Analyse und Charakterisierung des Schweißverhaltens	76
7.5	Analyse der Blechdickenflexibilität	80
7.6	Einfluss einer Hilfsfügeteilvergütung auf den Fügeprozess.....	82
8	Experimentelle Untersuchungen zum Tragverhalten	85
8.1	Tragverhalten unter Scherzugbelastung	85
8.2	Tragverhalten unter Kopfzugbelastung	87
8.3	Tragverhalten unter Schälzugbelastung.....	89
8.4	Tragverhalten unter Elementkopfzugbelastung.....	90
8.5	Gegenüberstellung der Verbindungsfestigkeiten.....	92
9	Hinweise zur Verbindungsauslegung	95
10	Zusammenfassung	97
11	Literaturverzeichnis	100

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen

a) Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Benennung / Erläuterung
A ₈₀	%	Bruchdehnung
d ₂	mm	Arbeitsflächendurchmesser der Elektrode
d _{KÜ}	mm	Kopfüberstand (pos./neg.)
d _L	mm	Schweißlinsendurchmesser
d _S	mm	Schaftdurchmesser
d _{Sp}	mm	Durchmesser Hilfsfügeteilspitze
E	N/mm	E-Modul
e	mm	Schweißlinsenhöhe
F	kN	Kraft
F _{EL}	kN	Elektrodenkraft
F _{max}	kN	Max. Elektrodenkraft
F _{max}	kN	Max. Elektrodenkraft
F _{max}	kN	Maximalkraft bei der Zugprüfung
I	kA	Stromstärke
K	mm	Kopfdurchmesser
l _Ü	mm	Überlappungslänge
m / ma	g oder kg	Masse
n	min ⁻¹	Drehzahl
PSZ	ms	Pausenzeit
r	mm	Radius
R	μOhm	Widerstand
R _e	MPa	Streckgrenze
R _m	MPa	Zugfestigkeit
R _{p0,2}	MPa	0,2%-Dehngrenze
d _S	mm	Schaftdurchmesser
S	mm	Weg/Hub
SH	mm	Schafthöhe
SR ₁	mm	Elektrodenradius
t	mm	Blechdicke
t	s	Zeit
T	°C	Temperatur
T _{1max}	°C	Temperatur nach dem Warmeinprägen
T _{2max}	°C	Temperatur nach dem Verschweißen
U	V	Spannung
U	mV	Spannung
V	mm /min	Prüfgeschwindigkeit
V _{Nut}	mm ²	Volumen Nut
V _{Schaft1}	mm ²	Schaftvolumen 1
V _{Schaft2}	mm ²	Schaftvolumen 2
V _{Überstand}	mm ²	Volumen Überstand

b) Abkürzungen

Abkürzung	Benennung / Erläuterung
2D	2-Dimensional
AG	Aktiengesellschaft
Al	Aluminium
ALR	Regelungsmodus für Aluminiumpunktschweißungen
AS150	Aluminium-Silizium-Beschichtung mit 150g/m ²

B	Bor
BSN	Bördelstanznieten
bzgl.	Bezüglich
bzw.	Beziehungsweise
C	Kohlenstoff
ca.	Circa
CAD	Computer Aided Design
CL	Clinchen
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
d.h.	das heißt
Diag.	Diagramm
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMS	Dehnungsmessstreifen
DVS	Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.
EDX	Energiedispersive Röntgenspektroskopie
EFB	Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V.
EN	Europäische Norm
EN AW-xxxx	Aluminiumknetlegierung mit vierstelliger Legierungsnummer
Engl.	Englisch
EU	Europäische Union
Fa.	Firma
FDM	Feindehnungsmessaufnehmer
Fe	Eisen
FE	Finite Elemente
FEM	Finite-Elemente-Methode
FK10.9	Festigkeitsklasse 10.9
FVK / FKV	Faserverstärkter Kunststoff
g	Gramm
ggf.	Gegebenfalls
ggü.	Gegenüber
GmbH	Gemeinschaft mit beschränkter Haftung
h	Stunde
HFT	Hilfsfügeteil
HHSN	Halbhohlstanznieten mit Sonderniet für höchstfeste Stähle
HSN	Stanznieten mit Halbhohlniet
HV	Vickershärte
HyBVE	Hybrides Blechverbindungselement
Hz	Hertz
Inc.	Incorporated
ISO	Internationale Organisation für Normung
Kap.	Kapitel
KG	Kommanditgesellschaft
KSR	Konstantstromregelung
KTL	Kathodische Tauchlackierung
kV	Kilovolt
KZ	Kopfzug
L	Schweißlinse
LWF-KSII	LWF-Kopfzug-Schälzugprobengeometrie der 2. Generation
Max.	Maximalwert
MFDC	Medium Frequency Direct Current (Mittelfrequenz)
Mg	Magnesium
Min	Minute
Min.	Minimalwert
ml	Milliliter
mm	Millimeter
Mn	Mangan

ms	Millisekunden
n	Stichprobenumfang
Ni	Nickel
nm	Nanometer
NPS	Nietpunktschweißen
O	Sauerstoff
o.g.	Oben genannt
P	Phosphor
PES	Prägeelementschweißen
PH	Press Hardened
REM	Rasterelektronenmikroskopie
RES	Reibelementschweißen
S	Schwefel
SC	Schneidclinchen
SdT.	Stand der Technik
SEP	Stahl-Eisen-Prüfblatt
Si	Silizium
Sn	Zinn
SPREW	Self-Pierce Resistance Element Welding
SPREW03 k10 S5 SH3,5	Widerstandselementbezeichnung
SWOPtec	Steel Welded Opposed Plug (Technology)
SZ	Scherzug
T4	Lösungsgeglüht und kaltausgelagert
T6, T7	Lösungsgeglüht und warmausgelagert
Ti	Titan
TM	Trademark
u.A.	Unter Anderem
V	Vanadium
var.	Variabel
vgl.	Vergleiche
VSN	Vollstanznieten
WE04-SHxx	Widerstandselementbezeichnung
WES	Widerstandselementschweißen
WEZ	Wärmeeinflusszone
WIG	Wolfram-Inertgas-Schweißen
z.B.	Zum Beispiel
z.T.	zum Teil
Zink-Nickel, ZnNi	Zink-Nickel-Beschichtung
Zn	Zink
Zr	Zirkon
Zxxx	Zinkbeschichtung mit Angabe des Flächengewichtes in g/m ²
Ω	Ohm