

Prof. Dr.-Ing. Gerson Meschut  
Dr.-Ing. Tommy Pietsch

**Entwicklung des  
Prägeelementschweißens  
für Aluminium-Stahl-  
Verbindungen im  
Karosseriebau**

Berichte aus dem Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik

Band 145

**Gerson Meschut  
Tommy Pietsch**

**Entwicklung des Prägeelementschweißens für  
Aluminium-Stahl-Verbindungen im Karosseriebau**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag  
Düren 2020

**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., 2019

Copyright Shaker Verlag 2020

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7128-3

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](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Teilergebnisse dieser Arbeit sind in folgenden Veröffentlichungen erschienen:

**Meschut, G.; Pietsch, T.:** Fügen von Dreiblech-Mischbaustrukturen im Karosseriebau. Lightweight Design 04/2015, S. 50-55

**Pietsch, T.:** Verfahren zum thermischen Fügen von Bauteilen mittels eines Hilfselementes. Offenlegungsschrift DE 102014225458 A1, Volkswagen AG, Wolfsburg 2016

**Amedick, J.; Schübeler, C.; Pietsch, T.:** Setzeinrichtung. Offenlegungsschrift DE 102014223190 A1, Volkswagen AG, Wolfsburg 2016

**Pietsch, T.; Krevet, A.:** Prägeelement mit H-förmigen Querschnitt. Offenlegungsschrift DE 102016216537 A1, Volkswagen AG, Wolfsburg 2018



## **Kurzfassung**

Aufgrund steigender Anforderungen an die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Kraftfahrzeugen gewinnt der Karosserieleichtbau weiter an Bedeutung. Dabei bedingt ein effizienter Leichtbau den Einsatz von Mischbauweisen. Die Verbindung der verschiedenen Werkstoffe stellt die Fügechnik vor neue Herausforderungen, insbesondere beim Fügen von Aluminiumlegierungen mit pressgehärtetem Stahl. Um dieser Fügeaufgabe auch in korrosiv belasteten Bereichen gerecht zu werden, ist das Ziel dieser Arbeit die Entwicklung des Prägeelementschweißens. Dazu wird ein neuartiges Hilfsfügeteil entwickelt, das den Anforderungen an Herstellbarkeit, Zuführbarkeit und Fügbarkeit gerecht wird. Die Anpassung der Setzwerkzeuge erfolgt mithilfe einer finiten Elemente basierten Prozesssimulation. Zum Abschluss der Verfahrensentwicklung werden die optimalen Parameter für das Prägeelement-schweißen ermittelt, sowie die Tragfähigkeit und die Korrosionsbeständigkeit überprüft. Um einer automobilen Serienfertigung gerecht zu werden, erfolgt die Bewertung von Delta-Alpha und Störgrößeneinflüssen auf die Verbindung. Die Untersuchungen verdeutlichen das Potenzial des Prägeelementschweißens, Aluminiumlegierungen und pressgehärteten Stahl in korrosiv belasteten Bereichen zu verbinden.

## **Abstract**

Due to the rising demands on the CO<sub>2</sub>-emissions of motor vehicles the lightweight construction of the body in white is becoming increasingly important. In this case an efficient weight reduction requires the use of multi material design. The combination of different materials generates new challenges for the joining technologies, especially when joining aluminum alloys to press hardened steels. In order to fulfill this joining task in areas with high corrosive attack, the aim of this work is to develop the form element welding. For this purpose a new rivet is developed which meets the requirements in terms of manufacturing, feeding and joining. The modification of the joining tools is done by using a finite-element-based process simulation. In conclusion the optimum parameters of the form element welding are determined and the joining strength, as well as the corrosion resistance, are verified. In order to fulfill the requirements of an automotive series production the consequences of delta-alpha-effect and disturbing influences are evaluated. In summary, the form element welding shows the potential to join aluminum alloys and press hardened steel in areas with high corrosive attack.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik .....</b>	<b>3</b>
2.1 Übersicht der Karosseriebauweisen .....	3
2.2 Pressgehärtete borlegierte Stähle.....	5
2.3 Fügeverfahren für den St/Al-Mischbau .....	6
2.3.1 Vollstanznieten .....	7
2.3.2 Halbhohlstanznieten .....	9
2.3.3 Reibelementschweißen .....	10
2.3.4 Widerstandselementschweißen.....	10
2.3.5 Hybridfügen .....	13
2.4 Auswirkungen des Delta-Alpha-Effektes.....	15
2.5 Korrosion bei St/Al-Mischbauverbindungen.....	17
2.6 Fügetechnische Entwicklungspotenziale .....	18
<b>3 Aufgabenstellung .....</b>	<b>19</b>
<b>4 Verfahrensansatz des Prägeelementschweißens.....</b>	<b>21</b>
4.1 Verfahrensablauf .....	21
4.2 Geometrische Verbindungskennwerte.....	22
4.3 Verfahrenseinordnung.....	25
<b>5 Versuchswerkstoffe und -einrichtungen .....</b>	<b>27</b>

---

5.1	Blechwerkstoffe .....	27
5.1.1	Mikrolegierte Stähle .....	27
5.1.2	Borlegierter Vergütungsstahl 22MnB5 .....	28
5.1.3	Aluminiumknetlegierung EN AW-6016 .....	28
5.2	Klebstoff .....	29
5.3	Hilfsfügeteile .....	30
5.4	Versuchsanlagen und –geometrien .....	31
5.4.1	Systemtechnik und Werkzeuge zur Verbindungsausbildung .....	31
5.4.2	Schliffbilderstellung .....	35
5.4.3	Zugversuch .....	36
5.4.4	Korrosionsprüfung .....	37
5.4.5	Optische Messung des Delta-Alpha-Effektes .....	38
5.4.6	Härteprüfung .....	39
5.5	FEM-Simulation des Einprägeprozesses .....	40
<b>6</b>	<b>Potenzialanalyse zum PES-Verfahrensansatz .....</b>	<b>41</b>
6.1	Einprägen des Clinchnietes .....	41
6.2	Verschweißen des Clinchnietes .....	43
<b>7</b>	<b>Verfahrensentwicklung des Prägeelementschweißens .....</b>	<b>48</b>
7.1	Theoretische Betrachtung zur Hilfsfügeteilgeometrie .....	48
7.2	Konzeptionierung der Herstellung des Prägeelementes .....	51
7.3	Entwicklung der Matrizengeometrie für den Einprägeprozess .....	53
7.4	Parametrierung des Fügeprozesses .....	65
7.4.1	Parametrierung des Einprägeprozesses .....	65

---

7.4.2	Parametrierung des Schweißprozesses.....	67
7.5	Tragverhalten unter quasistatischer Belastung.....	71
7.6	Korrosionseigenschaften.....	74
<b>8</b>	<b>Delta-Alpha-Effekt .....</b>	<b>78</b>
8.1	Darstellung des Delta-Alpha-Effektes anhand von Laborproben .....	78
8.2	Ergebnisvalidierung an Realbauteilen .....	85
<b>9</b>	<b>Störgrößenuntersuchungen.....</b>	<b>93</b>
9.1	Definition der Störgrößen .....	93
9.2	Störgrößenbewertung anhand von Realbauteilen .....	96
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>105</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>108</b>

## Abkürzungsverzeichnis

### Abkürzungen

Al		Aluminium
CAD		Computer Aided Design
FEM		Finite Elemente Methode
FKV		Faser-Kunststoff-Verbund
HSN		Halbhohlstanznieten
i.O.		in Ordnung
KTL		kathodische Tauchlackierung
MDK		Material-Dicken-Kombination
MMD		Multi-Material-Design
n.i.O.		nicht in Ordnung
PES		Prägeelementschweißen
RES		Reibelementschweißen
St		Stahl
UCI		Ultrasonic Contact Impedance
VSN		Vollstanznieten
WES		Widerstandselementschweißen
WPS		Widerstandspunktschweißen

### Lateinische Formelzeichen

A	[%]	Bruchdehnung
D <sub>CL</sub>	[-]	Schädigungswert
d <sub>m</sub>	[mm]	Durchmesser Matrizenabdruck

---

$d_s$	[mm]	Durchmesser Schweißlinse
$F_E$	[kN]	Elektrodenkraft
$f_1$	[mm]	Hinterschnitt links
$f_2$	[mm]	Hinterschnitt rechts
$f_m$	[mm]	Mittelwert Hinterschnitt
$h_b$	[mm]	Buckelhöhe
$h_e$	[mm]	Elementüberstand
$h_m$	[mm]	Höhe Matrizenabdruck
$h_s$	[mm]	Linseneindringtiefe
$I_s$	[kA]	Schweißstrom
$k$	[MPa]	Fließspannung
$L_0$	[mm]	Ausgangslänge
$m$	[-]	Reibfaktor
$n$	[-]	Anzahl
$R$	[ $\Omega$ ]	Widerstand
$R_e$	[MPa]	Streckgrenze
$R_m$	[MPa]	Zugfestigkeit
$R_{p0,2}$	[MPa]	Dehngrenze
$T$	[K]	Temperatur
$t_b$	[mm]	Restbodendicke
$t_s$	[ms]	Schweißzeit
$y$	[mm]	Lateralversatz

**Griechische Formelzeichen**

$\alpha$	[1/K]	Längenausdehnungskoeffizient
$\beta$	[°]	Schiefstellung
$\Delta$	[-]	Differenz
$\vartheta_{\text{Ofen}}$	[°C]	Ofentemperatur
$\mu$	[-]	Reibungskoeffizient
$\sigma_I$	[MPa]	Erste Hauptspannung
$\sigma_N$	[MPa]	Normalspannung
$\sigma_v$	[MPa]	Vergleichsspannung
$\tau_R$	[MPa]	Reibschubspannung
$\varphi$	[-]	Dehnung