

## Leander Schleuß

### Fügen strukturierter Bleche

Widerstandspunkt- und Metallschutzgas-Schweißen

# **Fügen strukturierter Bleche - Widerstandspunkt- und Metallschutzgas-Schweißen**

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und  
Wirtschaftsingenieurwesen der Brandenburgischen Technischen Universität  
Cottbus - Senftenberg zur Erlangung des akademischen Grades eines

## **Doktors der Ingenieurwissenschaften**

genehmigte Dissertation  
vorgelegt von

Diplomingenieur  
**Leander Schluß**

geboren am 07.11.1977 in Cottbus, Deutschland

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Woll

Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Vesselin Michailov

Gutachterin: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sabine Weiß

Tag der mündlichen Prüfung: 12.10.2017



Berichte des Lehrstuhls Füge- und Schweißtechnik  
der BTU Cottbus-Senftenberg

Band 11

**Leander Schleuss**

**Fügen strukturierter Bleche**

Widerstandspunkt- und Metallschutzgas-Schweißen

Shaker Verlag  
Aachen 2018

**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.: Cottbus-Senftenberg, BTU, Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2018

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5815-4

ISSN 1867-4887

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

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

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl Füge- und Schweißtechnik unter der Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Vesselin Michailov erstellt. Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Vesselin Michailov. Aufgrund der Idee Fügetechniken für strukturierte Bleche zu qualifizieren wurde eine Promotionsstelle geschaffen, die mir einen tiefen Einblick in diesen Fachbereich ermöglichte. In der Zusammenarbeit wurden Anregungen gegeben, welche sich stets positiv auf die persönliche Entwicklung auswirkten und die Arbeit bereicherten. Ich bedanke mich daher besonders für die Betreuung der Arbeit und für die stets angenehme Zusammenarbeit. Herrn Dr.-Ing. Ossenbrink, der die Leitung des Projektes vornahm, danke ich ebenfalls für seine Anregungen, die konstruktive Kritik und die umfassende Betreuung. Es wurden deutlich positive Impulse für die Arbeit und gleichermaßen auch für die nichtfachliche Entwicklung gegeben. Ich danke Frau Prof. Dr.-Ing. habil. Sabine Weiß für die Übernahme des Zweitgutachtens und Herrn Prof. Dr.-Ing. Ralf Woll für den Prüfungsvorsitz. Fortführend bedanke ich mich bei den Technikern des Lehrstuhls Füge- und Schweißtechnik, des Lehrstuhls Konstruktion und Fertigung und des Lehrstuhls Metallkunde und Werkstoffwissenschaften für die Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung von Versuchen. Ebenso möchte ich mich bei meinen Eltern für die stete Unterstützung bedanken, insbesondere für das Verständnis und das Korrekturlesen.

Ich widme diese Arbeit meinem Sohn Arno. Du bist der Grund für die Fertigstellung dieser Arbeit. Du bereicherst mein Leben mehr als es alles Andere vermag.

"Die Fragen eines Kindes sind schwerer zu beantworten als die Fragen eines Wissenschaftlers."

Alice Miller

## Zusammenfassung

Kontinuierliche Weiterentwicklung von Leichtbauweisen ist im Hinblick auf Ressourcenschonung, Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit eine Notwendigkeit, anspruchsvolle ökologische und ökonomische Ziele sowie gesetzliche Vorgaben zu erreichen. Vor diesem Hintergrund sind insbesondere die Branchen Automobil- sowie Luftfahrt- und Schienenverkehrsindustrie an fortschrittlichen Leichtbaulösungen interessiert. Strukturierte Bleche besitzen regelmäßig angeordnete Verstärkungselemente, die eine erhöhte Biegesteifigkeit bewirken. Dadurch wird eine Reduzierung des Bauteilgewichts ermöglicht oder bei gleicher Dicke eine Erhöhung der Steifigkeit von Baugruppen erzielt. Damit diese Bleche in den genannten Branchen eingesetzt werden können, müssen Fragen zum halbzeuggerechten Zuschnitt und zum Fügen strukturierter Bleche beantwortet werden.

Diese Arbeit gibt Aufschluss über die Schweißbarkeit strukturierter Bleche. Im Vordergrund der Arbeit wurden das Widerstandspunkt- und das Metall-Schutzgas-schweißen für strukturierte Bleche qualifiziert. Zu den Schweißverfahren werden Vorgehensweisen zum strukturgerechten Zuschnitt, zur Positionierung und zum Spannen gegeben und zukünftigen Anwendern Schweißparameter zur Verfügung gestellt. Durch statische Festigkeitsprüfungen werden Nachweise über die Qualität der erzeugten Verbindungen geführt. Vergleiche zu ebenen Blechen legen die Unterschiede zu konventionellen Halbzeugen offen. Ein Überblick zu bereits bestehenden und während der Bearbeitungszeit neu entwickelten Anwendungen sollen Impulse für eine breite Anwendung strukturierter Bleche über die genannten Branchen hinaus geben.

## Abstract

Continuous further development of lightweight construction methods is a necessity to achieve demanding ecological and economic targets as well as legal requirements with regard to resource conservation, energy saving and economic efficiency. Against this background, the automotive, aviation and railway industries are particularly interested in advanced light-weight solutions. Structured sheets have regularly arranged stiffening elements, which effect is an increased bending stiffness. This makes it possible to reduce the component weight - or with the same thickness - to increase the stiffness of assemblies. In order to be able to use these structured sheet metals in the above-mentioned sectors, questions about the cutting and joining considering the specific properties of the structured metal sheets must be answered. This work provides information on the weldability of structured sheets. In the foreground of the work the resistance spot and the gas metal arc welding for structured sheet metals were qualified. The information for the welding procedures considering the structure are given for future users on the topics accurate cutting, positioning, clamping and welding parameters. Static strength tests are used to provide evidence of the quality of the compounds produced. Comparisons with flat sheet metal reveal the differences to conventional semifinished products. An overview of already existing and newly developed applications during the processing period is intended to give impulses for a wide application of structured sheet metal in the above mentioned sectors.



# Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis . . . . .	VII
Abbildungsverzeichnis . . . . .	IX
Formelzeichen . . . . .	XIII
Abkürzungen . . . . .	XV
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Kenntnisse</b>	<b>3</b>
2.1 Strukturierte Bleche . . . . .	3
2.1.1 Definition und Strukturarten . . . . .	3
2.1.2 Eigenschaften der Wabenstruktur . . . . .	5
2.1.3 Patente und Gebrauchsmuster . . . . .	8
2.1.4 Anwendungen und Einsatzbereiche . . . . .	9
2.1.5 Wissenschaftliche Untersuchungen an strukturierten Blechen	11
2.2 Widerstandspunktschweißen . . . . .	14
2.3 Metallschutzgasschweißen . . . . .	16
2.4 Schlussfolgerungen und Zielstellungen . . . . .	18
<b>3 Verwendete Werkstoffe, Struktur, Anlagen und Prüfmethode</b>	<b>21</b>
3.1 Werkstoffe und strukturierte Bleche . . . . .	21
3.2 Anlagen . . . . .	22
3.3 Prüfmethode . . . . .	24
3.4 Struktur . . . . .	27
3.5 Verbindungsmöglichkeiten . . . . .	34
<b>4 Widerstandspunktschweißen strukturierter Bleche</b>	<b>39</b>
4.1 Vorbetrachtungen zur Schweißbarkeit - Widerstandspunktschweißen	40
4.1.1 Schweißeignung . . . . .	40
4.1.2 Schweißmöglichkeit . . . . .	42
4.1.2.1 Vorbereitung des Schweißens . . . . .	45
4.1.2.2 Ausführung des Punktschweißens . . . . .	47

4.1.2.3	zusätzliche Betrachtungen zur Schweißmöglichkeit	57
4.1.3	Schweißsicherheit . . . . .	58
4.1.4	Zusammenfassung der Vorbetrachtungen zur Schweißbarkeit beim Widerstandspunktschweißen . . . . .	62
4.2	Schweißen mit Wechselstromtechnik . . . . .	63
4.2.1	Auswirkung von Positionierungsfehlern . . . . .	75
4.2.2	Optimierung des Wechselstromschweißens . . . . .	81
4.2.3	Zusammenfassung zum Schweißen mit Wechselstrom . . . . .	86
4.3	Schweißen mit Mittelfrequenzgleichstrom . . . . .	87
4.3.1	Schweißbereiche und Festigkeiten . . . . .	87
4.3.2	Linsendurchmesser, Härtewerte und Auswertung . . . . .	100
4.4	Zusammenfassung zum Widerstandsschweißen . . . . .	102
<b>5</b>	<b>MSG-Schweißen strukturierter Bleche</b>	<b>107</b>
5.1	Schweißignung . . . . .	108
5.2	Schweißsicherheit . . . . .	109
5.3	Schweißmöglichkeit . . . . .	113
5.3.1	Modellversuche . . . . .	113
5.3.2	Spaltüberbrückbarkeit . . . . .	119
5.3.3	Höhenregulierung . . . . .	122
5.3.4	Variation der Strukturhöhe und Schlüsselweite . . . . .	126
5.3.5	Metallografie und Festigkeiten der Verbindungen . . . . .	134
5.3.6	Strukturierte tailored blanks - strukturierte maßgeschneiderte Bleche . . . . .	141
5.3.7	Verzug der Bleche . . . . .	144
5.4	Zusammenfassung zum MSG-Schweißen . . . . .	146
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung der Erkenntnisse und Ausblick</b>	<b>149</b>