

Einfluss der Beschichtung und des Schweißens auf das Korrosionsverhalten von strukturierten Blechen

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieurin

Elena Kornienko

geboren am 20.05.1982 in Worobjewka, Russland

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Ralf Woll

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

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Bernd Viehweger

Tag der mündlichen Prüfung: 10.07.2014

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

Band 7

Elena Kornienko

**Einfluss der Beschichtung und des Schweißens auf
das Korrosionsverhalten von strukturierten Blechen**

Shaker Verlag
Aachen 2014

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., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3087-7

ISSN 1867-4887

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

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Promotionsstudentin am Lehrstuhl Füge- und Schweißtechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg.

Ich möchte den Lehrstuhlinhaber Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Vesselin Michailov für die Ermöglichung und Betreuung dieser Arbeit sowie eine angenehme Zusammenarbeit meinen besonderen Dank aussprechen. Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Viehweger, Inhaber des Lehrstuhls Konstruktion und Fertigung gilt mein großer Dank für die Übernahme des zweiten Gutachtens. Ich danke Herrn Prof. Dr.-Ing. Ralf Woll, Inhaber des Lehrstuhls Qualitätsmanagement für die Übernahme des Vorsitzes des Promotionsausschusses.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Ralf Ossenbrink für seine stetige Unterstützung und zahlreiche konstruktive Diskussionen. Weiterhin möchte ich mich bei den Kollegen des Lehrstuhls Füge- und Schweißtechnik und der Graduiertenklasse „DESTRUKT“ für die gute Zusammenarbeit bedanken. Herrn Mathias Dubian danke ich besonders für die tatkräftige Mithilfe bei der Versuchsdurchführung. Ich bedanke mich auch bei allen technischen Mitarbeitern des Lehrstuhls Herrn Lars Klein, Herrn Roland Läufer und Herrn Dennis Urban.

Ganz herzlich danke ich meinem Mann Viatcheslav für seine Geduld. Ohne seine Unterstützung wäre diese Arbeit nicht entstanden.

Kurzfassung

Strukturiertes Blech ist ein innovatives Material mit einer dreidimensionalen Geometrie, die mit dem Hydroformingprozess hergestellt werden kann. Der Strukturierungsprozess beeinflusst die Korrosionseigenschaften von strukturierten Blechen durch Änderung der Blechgeometrie, Oberflächenrauheit und mechanischen Eigenschaften. Weiterverarbeitungsprozesse wie Schweißen verändert zusätzlich die Korrosionsbeständigkeit strukturierter Bleche. Der Mangel an Wissen über das Korrosionsverhalten von strukturierten Halbzeugen erschwert deren breiteren industriellen Einsatz.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Kenntnisse über die Korrosionsbeständigkeit und der Korrosionsschutz von strukturierten Blechen zu erweitern. Eine detaillierte Untersuchung des Korrosionsverhaltens und des Korrosionsschutzes strukturierter Bleche erfolgt in der Arbeit durch die Anwendung der elektrochemischen Methoden und Korrosionsprüfverfahren, wie Salzsprühnebel- und Klimawechselprüfungen.

Die vorliegende Dissertation bringt einen Beitrag zum besseren Verständnis des Korrosionsverhaltens der untersuchten strukturierten Bleche. Darüber hinaus werden geeignete Schweißverfahren analysiert und für die strukturierten Bleche passende Beschichtungsstrategien und -systemen bewertet.

Abstract

Structured sheet metal is an innovative material with a three-dimensional geometry that can be manufactured using the hydroforming process. The structuring process affects the corrosion properties of the structured sheet metals by changing the sheet geometry, surface roughness and mechanical properties. Further processing such as welding, change, additionally, the corrosion resistance of the structured sheet metals. The lack of knowledge of the corrosion behaviour of the structured semi-finished products limits their wider industrial application.

The aim of this work is to extend the knowledge of the corrosion resistance and the corrosion protection of the structured sheet metals. A detailed investigation of the corrosion behaviour and the corrosion protection of the structured sheet metals is carried out in this work by the application of electrochemical techniques and corrosion test methods, such as salt spray and climate change tests.

This work contributes the better understanding of the corrosion behaviour of the investigated structured sheet metals. Moreover, the welding methods are analysed and the applicable for the structured sheet metals coating strategies and systems are evaluated.

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	iv
1 Einleitung	1
2 Stand der Wissenschaft und Technik	3
2.1 Strukturierte Bleche	3
2.2 Grundlagen der Korrosion	5
2.2.1 Korrosionsverhalten der Stähle	6
2.2.2 Korrosionseinflussfaktoren	14
2.3 Korrosionsschutz durch organische Beschichtungen	16
2.3.1 Beschichtungsstoffe und Systeme	16
2.3.2 Beschichtungsverfahren	18
2.3.3 Umformen beschichteter Bleche	21
2.4 Methoden zur Korrosionsuntersuchung	22
2.4.1 Elektrochemische potentiodynamische Polarisationsprüfungen	22
2.4.2 Salzsprühnebelprüfung	27
2.4.3 Klimawechselprüfung	28
2.5 Schweißen unlegierter Stähle	29
2.5.1 Schweißverfahren für unlegierte Stähle	29
2.5.2 Gefügeausbildung in der Schweißnaht	31
2.5.3 Korrosionsverhalten der Schweißverbindungen	32
3 Zielsetzung	34
4 Werkstoffcharakterisierung	36
4.1 Untersuchte Werkstoffe	36
4.2 Metallographische Untersuchungen	36
4.3 Untersuchte strukturierte Bleche	39
5 Korrosionsverhalten strukturierter Bleche	41
5.1 Werkstoffcharakterisierung nach der Strukturierung	41
5.1.1 Rauheitsmessung	41
5.1.2 Oberflächenmorphologie für den Stahl DX56D+Z	45

5.2	Elektrochemische Korrosionseigenschaften	46
5.2.1	Messeinrichtung und Messpositionen	46
5.2.2	Potentiodynamische Polarisierung	48
5.2.3	Elektrochemische Korrosionskennwerte	49
5.3	Korrosionsverhalten bei der Salzsprühnebelprüfung	56
5.3.1	Versuchsaufbau	56
5.3.2	Bestimmung und Berechnung der Kenngrößen für den Stahl DC04	58
5.3.3	Versuchsergebnisse für den verzinkten Stahl DX56D+Z	62
5.3.3.1	Flächenanalyse der örtlichen Angriffsstellen mit Korrosions- produkten	62
5.3.3.2	Topographie der korrosionsbeschädigten Oberfläche	67
5.3.3.3	Korrosionseindringtiefe	68
5.4	Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	70
6	Einfluss des Umformprozesses auf die Korrosionsbeständigkeit	73
6.1	Versuchsdurchführung	73
6.2	Untersuchung der Proben nach dem Zugversuch	74
6.2.1	Rauheitsmessung	74
6.2.2	Oberflächenmorphologie des Stahls DX56D+Z	77
6.2.3	Gefügeuntersuchung für den Stahl X5CrNi18-10	78
6.3	Elektrochemische Korrosionsprüfungen	78
6.4	Abhängigkeit der elektrochemischen Kenngrößen vom Umformgrad	79
6.5	Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	83
7	Korrosionsschutz strukturierter Bleche	85
7.1	Beschichtungen auf strukturierten Blechen	85
7.2	Oberflächenuntersuchung beschichteter Bleche	87
7.3	Gitterschnittprüfung	91
7.4	Klimawechselprüfung für beschichtete Bleche	94
7.4.1	Versuchsdurchführung und Auswertung	94
7.4.2	Ergebnisse für KTL-, Nass- und Pulverbeschichtungen	96
7.4.3	Ergebnisse für die Bandbeschichtungen	112
7.5	Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	118
8	Korrosionsbeständigkeit geschweißter strukturierter Bleche	120
8.1	Schweißverfahren und Schweißverbindungen	120
8.2	Metallographische Untersuchungen der Schweißnaht	121

8.3	Potentiodynamischer Versuch	126
8.3.1	Probenvorbereitung	126
8.3.2	Elektrochemische Korrosionskenngrößen	127
8.4	Salzsprühnebelprüfung	133
8.4.1	Versuchsbedingungen	133
8.4.2	Ergebnisse der Salzsprühnebelprüfung	133
8.4.3	Sichtprüfung	133
8.4.4	Flächenbezogener Massenverlust	135
8.5	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse	135
9	Zusammenfassung und Ausblick	138
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	143
	Literaturverzeichnis	152
A	Anhang	167