



Berichte aus dem
Institut für Eisenhüttenkunde



Tim Gommlich

**Zur Vermeidung von Wasserstoff-
schäden am höchstfesten Stahl 300M
bei der galvanischen Abscheidung von
Zink-Nickel-Überzügen**

Zur Vermeidung von Wasserstoffschäden am höchstfesten Stahl 300M bei der galvanischen Abscheidung von Zink-Nickel-Überzügen

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von Master of Science

Tim Gommlich

aus Soest

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck
Priv.-Doz. Prof. Dr. rer. nat. habil. Günter Schmitt

Tag der mündlichen Prüfung: 20. November 2017

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.



**Berichte aus dem
Institut für Eisenhüttenkunde**

Tim Gommlich

**Zur Vermeidung von Wasserstoffschäden
am höchstfesten Stahl 300M bei der galvanischen
Abscheidung von Zink-Nickel-Überzügen**

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. W. Bleck
Prof. Dr.rer.nat. Dr.-Ing.e.h. W. Dahl
Prof. Dr.-Ing. H.W. Gudenau
Prof. Dr.-Ing. D. Senk

Band 1/2018

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, 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 978-3-8440-5717-1

ISSN 0943-4631

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

Für Fini, Mia und Leo

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit am Institut für Instandhaltung und Korrosionsschutztechnik sowie an der Fachhochschule Südwestfalen in Iserlohn.

Ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Günter Schmitt, der durch seine hervorragende Betreuung entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck bedanke ich mich für die Unterstützung in Form vieler Anregungen und Hilfestellungen.

Allen Mitarbeitern des Instituts für Instandhaltung und Korrosionsschutztechnik und des Labors für Korrosionsschutztechnik der Fachhochschule Südwestfalen in Iserlohn, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, vor allem aber Frau Karin Kinateder, sei herzlich gedankt.

Großer Dank gilt auch der Firma Liebherr-Aerospace Lindenberg GmbH, insbesondere Herrn Dr. Klaus Schöttler und Herrn Armin Volz. Ohne die hervorragende Zusammenarbeit und die vielen wertvollen Diskussionen wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens durch das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms LuFo IV-3 sei ebenfalls gedankt.

Besonders herzlich möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. Durch ihren Rückhalt haben sie maßgeblichen Anteil an dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand des Wissens	3
2.1	Galvanische Abscheidung von Metallüberzügen	3
2.1.1	Allgemeine Betrachtungen	3
2.1.2	Prinzip der galvanischen Metallabscheidung.....	4
2.1.3	Korrosionsschutz durch galvanisch abgeschiedene Metallüberzüge	5
2.1.4	Galvanisch abgeschiedene Zinküberzüge	8
2.1.5	Galvanisch abgeschiedene Zink-Nickel-Überzüge	10
2.1.6	Galvanisch abgeschiedene Cadmiumüberzüge	10
2.1.7	Galvanisch abgeschiedene Nickelüberzüge	11
2.2	Wasserstoffbildung bei der galvanischen Metallabscheidung	13
2.3	Wasserstoff in Metallen	20
2.3.1	Wasserstoffaufnahme in den Werkstoff	20
2.3.2	Aufenthaltssorte des Wasserstoffs im Metall.....	22
2.3.2.1	Wasserstofflöslichkeit	23
2.3.2.2	Hydridbildung	26
2.3.2.3	Wasserstofffallen	28
2.3.3	Werkstoffschädigung durch Wasserstoff	29
2.3.4	Vermeidung von Wasserstoffversprödung.....	32
2.3.5	Messung des Wasserstoffgehalts im Werkstoff.....	32
2.4	Galvanische Überzüge auf höchstfesten Vergütungsstählen	34

3	Experimentelles	35
3.1	Werkstoff	35
3.2	ZnNi-Elektrolyt und untersuchte Beschichtungsparameter	36
3.3	Zeitstandversuche	38
3.3.1	Prüfmethode	38
3.3.2	Proben	38
3.3.3	Prüfvorrichtung	39
3.3.4	Versuchsdurchführung und -auswertung	40
3.4	Wasserstoffpermeationsversuche	41
3.4.1	Messprinzip	41
3.4.2	Proben und Probenvorbehandlung	43
3.4.3	Permeationsmessanlage	45
3.4.4	Durchführung der Permeationsmessungen	48
3.4.5	Auswertung	49
3.5	Elektrochemische Rauschmessungen	51
3.5.1	Messprinzip der CoulCount-Rauschdiagnose	51
3.5.2	Proben und Korrosionsmedium	52
3.5.3	Versuchsapparatur	54
3.5.4	Versuchsdurchführung und -auswertung	56
3.6	Wasserstoffeffusionsmessungen	57
3.6.1	Proben	57
3.6.2	Durchführung der Effusionsmessungen	57
4	Ergebnisse	59
4.1	Vorversuche zur Wasserstoffpermeation	59
4.2	Parameteroptimierung	64
4.2.1	Erste Untersuchungen am Werkstoff 300M	64
4.2.2	Einführung der Wasserstoffbilanzierung	67
4.2.3	Grundlegende Parameteruntersuchungen	72
4.2.4	Stromdichteoptimierung und Passivierungseinfluss	83
4.2.5	Einfluss des Glanzbildners	93
4.2.6	Kontrolle der optimierten Prozessparameter	100
4.3	Überprüfung des Korrosionsschutzes des ZnNi-Überzugs	107

4.4	Wasserstoffeffusionsmessungen	113
4.4.1	Voruntersuchungen	113
4.4.2	Zweistufige Effusionsmessung mit Abtrag des Überzugs	120
4.4.3	Vergleichende Untersuchungen an ZnNi-, Cd-, Ni- und Zn-Überzügen	123
4.4.4	Effusionsmessungen an beschichteten Kupferstäben	131
4.4.5	Weiterführende Untersuchung von kadmierten Kerbzugproben	134
5	Diskussion	137
5.1	Entwicklung des ZnNi-Abscheideverfahrens	137
5.1.1	Morphologie des ZnNi-Überzugs	137
5.1.2	Beschichtungsparameter.....	138
5.2	Überprüfung des Korrosionsschutzes	141
5.3	Wasserstoffeffusionsmessungen	142
5.3.1	Kritische Wasserstoffkonzentration im Werkstoff 300M	142
5.3.2	Wasserstoffspeicherung in Metallüberzügen.....	144
5.3.3	Versprödungsverhalten von kadmiertem 300M-Stahl	147
6	Schlussfolgerungen.....	149
7	Zusammenfassung.....	153
8	Literaturverzeichnis	155