

**Universität
Rostock**



Traditio et Innovatio

**Forschungsberichte
des Lehrstuhls für
Werkstofftechnik der
Universität Rostock**



Ionische Flüssigkeiten als Abschreckmedien bei der Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe

Martin Österreich

Band 5

**SHAKER
VERLAG**

Ionische Flüssigkeiten als Abschreckmedien bei der Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) der Fakultät für Maschinenbau
und Schiffstechnik der Universität Rostock.

*vorgelegt von Martin Österreich geb. Beck
geboren am 13.01.1986 in Crivitz*

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Keßler

Universität Rostock
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Lehrstuhl für Werkstofftechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Franz Hoffmann

Stiftung Institut für Werkstofftechnik Bremen
Werkstofftechnik | Wärmebehandlung

Abgabe: 06.06.2017, Verteidigung: 07.11.2017

Forschungsberichte des Lehrstuhls für Werkstofftechnik der
Universität Rostock

Band 5

Martin Österreich

**Ionische Flüssigkeiten als Abschreckmedien
bei der Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe**

Shaker Verlag
Aachen 2017

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.: Rostock, Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5675-4

ISSN 2192-0729

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

„Wir müssen unbedingt Raum für Zweifel lassen, sonst gibt es keinen Fortschritt, kein Dazulernen. Man kann nichts Neues herausfinden, wenn man nicht vorher eine Frage stellt.

Und um zu fragen, bedarf es des Zweifels.“

Richard P. Feynman

Kurzfassung

Eines der wichtigsten Verfahren zur Einstellung von Eigenschaften metallischer Werkstoffe ist die Wärmebehandlung. Ein zentraler Bestandteil zahlreicher Wärmebehandlungen ist das Abschrecken von einer Glüh­temperatur. Es gibt verschiedene Abschreckmethoden, wobei das Tauchabschrecken dominiert. Dabei werden meist verdampfende Abschreckmedien, wie Wasser oder Öl verwendet, welche einen unerwünschten wärmeisolierenden Dampffilm auf der Probenoberfläche erzeugen können. Nicht verdampfende Abschreckmedien, wie konventionelle Salz- oder Metallschmelzen müssen aufgrund hoher Schmelztemperaturen mit großem Aufwand betrieben werden. In der vorliegenden Arbeit wird erstmals die prinzipielle Eignung ionischer Flüssigkeiten als Abschreckmedien mit Hinblick auf die Kühlleistung, Gleichmäßigkeit und Wechselwirkung mit dem Bauteil systematisch untersucht. Dafür werden Tauchabschreckungen an den Aluminiumlegierungen AlSi1MgMn, AlZn8MgCu und AlCu6Mn verschiedener Geometrien sowie den Stählen X5CrNi18-10 und 42CrMo4 durchgeführt. Die beiden untersuchten ionischen Flüssigkeiten [EMIm][NTf₂] und [EMIm][EtSO₄] weisen in reiner Form keine Filmsiedephase auf, wodurch mit Hilfe von Experimenten und Simulationen ein geringerer Bauteilverzug nachgewiesen werden kann. Die erreichbare Abschreckintensität lässt sich durch Zugabe von Wasser oder Kohlenstoffdioxid signifikant erhöhen. Die Abschreckwirkung ist ausreichend für die Erzielung der geforderten Härte hochlegierter Aluminiumwerkstoffe oder eines typischen Vergütungsstahls. Je nach abgeschrecktem Werkstoff und verwendeter ionischer Flüssigkeit werden geringe bis keine Veränderungen an den Probenoberflächen festgestellt. Die neuartige Stoffklasse der ionischen Flüssigkeiten besitzt viele Eigenschaften eines idealen Abschreckmediums.

Abstract

Heat treatment is one of the most important techniques to adjust the properties of metallic components. A key element of many heat treatments is quenching from annealing temperature. A variety of different quenching techniques is available, but immersion quenching is mainly used. Most of the quenching media are vaporising liquids, like water or oil, producing an undesired thermal insulating vapour layer on the sample surface. Non vaporising liquids like conventional molten salts or metals need to be operated with high effort caused by high melting temperatures. This work systematically investigates the applicability of ionic liquids as quenching media for the very first time. Special attention is spent on the cooling power, homogeneity and interaction between component and liquid. Therefore, immersion quenching of the aluminium alloys 6082, 7349 and 2219 with varying geometry and steels AISI 304 and AISI 4140 are carried out. The two investigated pure ionic liquids [EMIm][NTf₂] und [EMIm][EtSO₄] show no film boiling. This indicates a low potential for distortion which is proven by experiments and simulation. The cooling rates can be increased significantly by addition of water or carbon dioxide. The cooling power is sufficient to quench high alloyed aluminium and low alloy steel to desired hardness values. Depending on the quenched material and the ionic liquid minor or no changes of the component surfaces can be detected. The new substance class of ionic liquids fits many requirements for an ideal quenching medium.

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	3
2.1	Wärmebehandlung metallischer Bauteile	3
2.1.1	Bedeutung des Abschreckens	3
2.1.2	Abschreckmethoden	4
2.1.3	Abschreckmedien	5
2.1.3.1	Verdampfende Abschreckmedien	7
2.1.3.2	Nicht verdampfende Abschreckmedien	8
2.1.4	Wärmeübergangsmechanismen	9
2.1.5	Methoden zur Untersuchung von Abschreckvorgängen	10
2.1.5.1	Messung der Bauteiltemperatur	11
2.1.5.2	Weitere Methoden	14
2.2	Ionische Flüssigkeiten	15
2.2.1	Definition und Eigenschaften	15
2.2.2	Anwendungsgebiete	17
3	Werkstoffe und Methoden	19
3.1	Werkstoffe	19
3.1.1	Aluminiumlegierung Al Si1MgMn (6082)	19
3.1.2	Aluminiumlegierung Al Zn8MgCu (7349)	20
3.1.2.1	Zylinder 7349	21
3.1.2.2	Strangpressprofil 7349	21
3.1.3	Aluminiumlegierung Al Cu6Mn (2219)	23
3.1.4	Stahl X5CrNi18-10	23
3.1.5	Stahl 42CrMo4	25
3.2	Abschreckflüssigkeiten	26
3.2.1	Ionische Flüssigkeiten	26
3.2.1.1	[EMIm][NTf ₂]	26
3.2.1.2	[EMIm][EtSO ₄]	27

3.2.2	Leitungswasser.....	28
3.2.3	Vergleich der physikalischen Eigenschaften der verwendeten Abschreckmedien.....	28
3.3	Abschreckversuche.....	28
3.3.1	Versuchsaufbau.....	28
3.3.2	Versuchsdurchführung.....	32
3.3.3	Temperaturmessung.....	33
3.3.4	Videoaufnahmen.....	34
3.3.4.1	Konventionelle Videoaufnahmen.....	34
3.3.4.2	Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen.....	34
3.4	Ermittlung von Wärmeübergangskoeffizienten.....	38
3.5	Probencharakterisierung.....	39
3.5.1	Härteprüfung.....	39
3.5.2	Metallographische Untersuchung.....	40
3.5.3	Oberflächenanalyse.....	40
3.5.3.1	Rasterelektronenmikroskopie.....	40
3.5.3.2	Photoelektronenspektroskopie.....	41
3.5.4	Verzugsbestimmung.....	42
4	Ergebnisse an Aluminiumlegierungen.....	43
4.1	Abschreckwirkung.....	43
4.1.1	Einfluss Badtemperatur.....	45
4.1.2	Einfluss Wassergehalt.....	53
4.1.3	Einfluss Gasgehalt.....	61
4.2	Abgeschreckte Aluminiumlegierungen.....	66
4.2.1	Härte.....	66
4.2.2	Oberflächenveränderung.....	68
4.2.2.1	Oberflächenveränderung an AlSi1MgMn.....	70
4.2.2.2	Oberflächenveränderung an AlZn8MgCu.....	73
4.2.2.3	Oberflächenveränderung an AlCu6Mn.....	76

4.3	Verzug	79
5	Ergebnisse an Stählen	85
5.1	Abschreckwirkung.....	85
5.2	Abgeschreckte Stähle	92
5.2.1	Härte und Gefüge	92
5.2.2	Oberflächenveränderung	93
5.2.2.1	Oberflächenveränderung in [EMIm][NTf ₂]	94
5.2.2.2	Oberflächenveränderung in [EMIm][EtSO ₄].....	100
6	Abschrecksimulation	105
6.1	Modellierung	105
6.2	Simulationsergebnisse.....	112
7	Diskussion.....	115
7.1	Abschreckwirkung.....	115
7.1.1	Abschreckgeschwindigkeit und Abschreckgleichmäßigkeit	115
7.1.1.1	Ermittlung der axialen Abschreckgleichmäßigkeit	116
7.1.1.2	Gegenüberstellung von Abschreckgeschwindigkeit und Abschreckgleichmäßigkeit	123
7.1.2	Badtemperatur.....	124
7.1.3	Wassergehalt	126
7.1.4	Gasgehalt	131
7.1.5	Wärmeübergangskoeffizient nach VDI-Wärmeatlas	132
7.2	Werkstoffstruktur und Eigenschaften	140
7.2.1	Härte Aluminium	140
7.2.2	Oberflächenveränderung Aluminium	141
7.2.3	Härte und Gefüge Stahl.....	143
7.2.4	Oberflächenveränderung Stahl.....	145
7.3	Verzug	147
7.5	Thermische Kurz-/ Langzeitstabilität/ Arbeitsschutz	157
8	Zusammenfassung.....	159

Selbständigkeitserklärung.....	I
Literaturverzeichnis.....	II
Anhang.....	VIII
A. Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
B. Symbolverzeichnis.....	VIII
C. Abbildungsverzeichnis.....	X
D. Tabellenverzeichnis.....	XVII
E. Betreute studentische Arbeiten im Rahmen der Promotion.....	XVIII
Akademischer Lebenslauf.....	XIX