

Mike Mosbacher

Oxidations- und Sauerstoffdiffusionsverhalten der Zirconiumlegierung ZrNb7 für tribologische Anwendungen



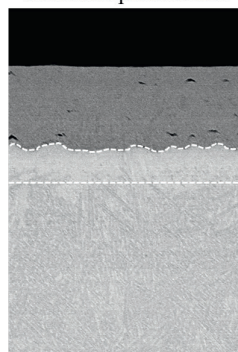
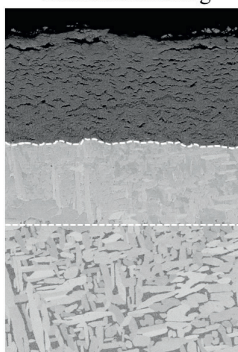
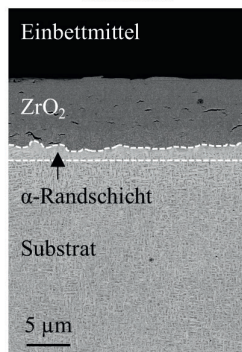
Herkömmliche Oxidation



Dreistufige Wärmebehandlung



Oxidation bei geringem Sauerstoffpartialdruck



Oxidations- und Sauerstoffdiffusionsverhalten der Zirconiumlegierung ZrNb7 für tribologische Anwendungen

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften
der Universität Bayreuth
zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von
M. Sc. Mike Mosbacher
aus
Friedrichshafen

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Glatzel
Zweitgutachter: PD Dr.-Ing. Mathias Galetz

Tag der mündlichen Prüfung: 26.08.2019

Lehrstuhl Metallische Werkstoffe
Universität Bayreuth
2019

Berichte aus der Materialwissenschaft

Mike Mosbacher

**Oxidations- und Sauerstoffdiffusionsverhalten
der Zirconiumlegierung ZrNb7 für tribologische
Anwendungen**

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.: Bayreuth, 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 978-3-8440-7280-8

ISSN 1618-5722

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 • E-Mail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	1
2	Grundlagen	3
2.1	Zirconium und Zr-Legierungen.....	3
2.2	Oxidation von Metallen	4
2.3	Festkörperdiffusion	7
2.4	Oxidierete Zirconiumlegierungen.....	10
2.5	Tribologie.....	12
3	Material und Methoden.....	15
3.1	Probenherstellung.....	15
3.1.1	Lichtbogenofen	15
3.1.2	Vakuuminduktionsgießanlage.....	15
3.2	Wärmebehandlungen.....	16
3.2.1	Oxidation	16
3.2.2	Reduktion.....	16
3.2.3	Oxidation bei geringem Sauerstoffpartialdruck	17
3.3	Materialcharakterisierung	18
3.3.1	Metallographische Präparation	18
3.3.2	Mikroskopie	19
3.3.3	Mikroröntgenfluoreszenzanalyse	19
3.3.4	Schichtdickenmessung	19
3.3.5	Mikrohärtemessung	20
3.3.6	Haftfestigkeitsprüfung	21
3.3.7	Profilometrie	22
3.3.8	Röntgenbeugung	22
3.3.9	Röntgenphotoelektronenspektroskopie	23
3.3.10	Raman-Spektroskopie.....	23
3.4	Tribologie-Versuche.....	23
3.4.1	Kalottenverschleiß (Calo-Wear)	23
3.4.2	Kniegelenksprüfstand (Walze-Platte).....	25
4	Ergebnisse	29
4.1	Grundzustand	29
4.2	Dreistufige Wärmebehandlung (3WB).....	31

4.2.1	Schritt 1: Oxidation	31
4.2.2	Schritt 2: Reduktion im Vakuum	36
4.2.3	Schritt 3: Erneute Oxidation	42
4.2.4	Optimale Parameter der dreistufigen Wärmebehandlung für mikrostrukturell beste Oberflächen	43
4.3	Oxidation bei geringem Sauerstoffpartialdruck (OGS).....	45
4.4	Mikrohärtemessungen	47
4.4.1	Dreistufige Wärmebehandlung	47
4.4.2	Oxidation bei geringem Sauerstoffpartialdruck	51
4.5	Schichthaftung	52
4.5.1	Rockwell-Eindringprüfung nach DIN EN ISO 26443	52
4.5.2	Gitterschnittprüfung nach DIN EN ISO 2049	53
4.6	Charakterisierung der Oxidoberflächen.....	54
4.7	Tribologie.....	58
4.7.1	Kalottenverschleiß (Calo-Wear)	59
4.7.2	Kniegelenksprüfstand (Walze-Platte).....	61
5	Diskussion.....	69
5.1	Mikrostruktur im Randbereich.....	69
5.2	Reduktion der Oxidschicht	73
5.3	Reaktionskinetik der dreistufigen Wärmebehandlung	75
5.4	Vergleich der drei Wärmebehandlungen OX, 3WB und OGS	77
5.4.1	Unterschiede in der Oxidzusammensetzung und der Probenoberflächen	77
5.4.2	Auswirkung der Oxidoberflächen auf die tribologischen Eigenschaften	83
5.5	Modellierung des Schichtwachstums	88
6	Zusammenfassung	92
7	Summary	94
8	Ausblick	96
9	Literatur.....	98
10	Abkürzungsverzeichnis.....	104
11	Liste der eigenen Publikationen	105
12	Lebenslauf.....	106
	Danksagung.....	107