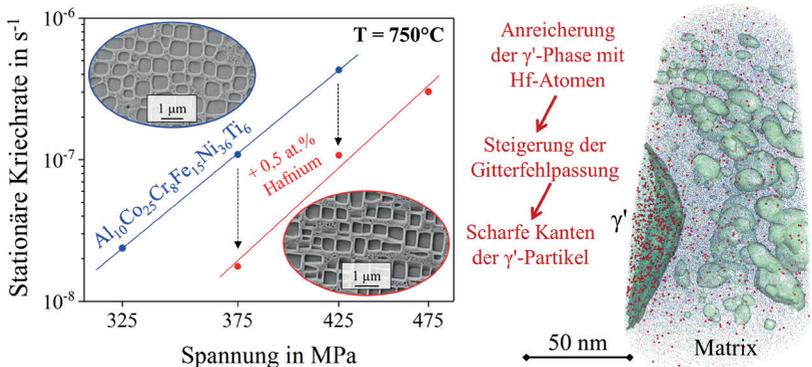


Sebastian Haas

Einfluss hochschmelzender Legierungselemente auf Mikrostruktur und Hochtemperaturbeständigkeit einer Legierung mit komplexer Zusammensetzung $\text{Al}_{10}\text{Co}_{25}\text{Cr}_8\text{Fe}_{15}\text{Ni}_{36}\text{Ti}_6$



**Einfluss hochschmelzender Legierungselemente auf
Mikrostruktur und Hochtemperaturbeständigkeit
einer Legierung mit komplexer Zusammensetzung**
 $\text{Al}_{10}\text{Co}_{25}\text{Cr}_8\text{Fe}_{15}\text{Ni}_{36}\text{Ti}_6$

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

von

Dipl.-Ing. Sebastian Haas

aus

Pegnitz

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Glatzel

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Martin Heilmaier

Tag der mündlichen Prüfung: 25.09.2020

Lehrstuhl Metallische Werkstoffe
Universität Bayreuth
2020

Berichte aus der Materialwissenschaft

Sebastian Haas

**Einfluss hochschmelzender Legierungselemente
auf Mikrostruktur und Hochtemperaturbeständigkeit
einer Legierung mit komplexer Zusammensetzung**

$\text{Al}_{10}\text{Co}_{25}\text{Cr}_8\text{Fe}_{15}\text{Ni}_{36}\text{Ti}_6$

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., 2020

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 978-3-8440-7667-7

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	Multikomponentige Legierungssysteme	3
2.1.1	Hochentropielegierungen: Einführung und Charakterisierung	3
2.1.2	Thermodynamik der Phasenstabilität	5
2.2	Hochtemperaturbeständigkeit metallischer Werkstoffe	9
2.2.1	Verformungsmechanismen	9
2.2.2	Festigkeitssteigerung durch L1 ₂ -Ausscheidungen	12
2.2.3	Hochtemperaturkorrosion	16
2.3	Basislegierung Al ₁₀ Co ₂₅ Cr ₈ Fe ₁₅ Ni ₃₆ Ti ₆	18
2.3.1	Entwicklungshistorie	18
2.3.2	Mikrostrukturelle Charakterisierung	19
3	Material und Methoden	22
3.1	Modifizierung der Basislegierung	22
3.2	Legierungsherstellung	23
3.2.1	Lichtbogenschmelzen	23
3.2.2	Induktionsgießen	24
3.2.3	Standardwärmebehandlung	25
3.3	Mikrostrukturelle Charakterisierung	25
3.3.1	Metallographische Probenpräparation	25
3.3.2	Mikroskopie	26
3.3.3	Bestimmung von Volumengehalt und Größe der γ' -Partikel	26
3.3.4	Elektronenrückstreuung	28
3.3.5	Röntgenbeugung	28
3.4	Chemische Analyse	29
3.4.1	Energiedispersive Röntgenspektroskopie	29
3.4.2	3D-Atomsondentomographie	30
3.5	Thermische Analyse	31
3.6	Mechanische Charakterisierung	32
3.6.1	Zugversuche und Kriechversuche	32
3.6.2	Mikrohärtemessungen	34
4	Ergebnisse	35

4.1	Mikrostrukturelle Untersuchungen	35
4.1.1	Phasenanalyse der Basislegierung.....	35
4.1.2	Homogenisierung der Gefügestruktur	36
4.1.3	Variation der Phasenausbildung.....	37
4.1.4	Chemische Analyse der Matrix und γ' -Phase	44
4.1.5	Gitterparameter der Matrix und γ' -Phase.....	50
4.1.6	Charakterisierung gerichtet erstarter Proben	51
4.2	Bestimmung des Oxidationsverhaltens	53
4.2.1	Mikrostruktur	53
4.2.2	Thermogravimetrie.....	56
4.3	Mechanische Charakterisierung	57
4.3.1	Mikrohärtemessungen	57
4.3.2	Zugversuche.....	59
4.3.3	Kriechversuche.....	63
5	Diskussion	67
5.1	Evolution der Mikrostruktur von $Al_{10}Co_{25}Cr_8Fe_{15}Ni_{36}Ti_6$	67
5.2	Oxidationsbeständigkeit bei 800°C.....	72
5.3	Einfluss hochschmelzender Elemente auf... ..	75
5.3.1	...die Gitterfehlpassung und Morphologie der γ' -Phase.....	75
5.3.2	...die Ausprägung der Heusler-Phase	77
5.3.3	...die Bildung zusätzlicher Merkmale in der Mikrostruktur	79
5.4	Auswirkungen der Mikrostruktur auf das mechanische Verhalten.....	79
5.4.1	Zeitunabhängige mechanische Eigenschaften	80
5.4.2	Zeitabhängige mechanische Eigenschaften	85
6	Fazit	90
7	Ausblick	91
8	Zusammenfassung	92
9	Summary	94
10	Literatur.....	96
11	Abkürzungsverzeichnis.....	106
12	Lebenslauf.....	107
	Danksagung.....	108