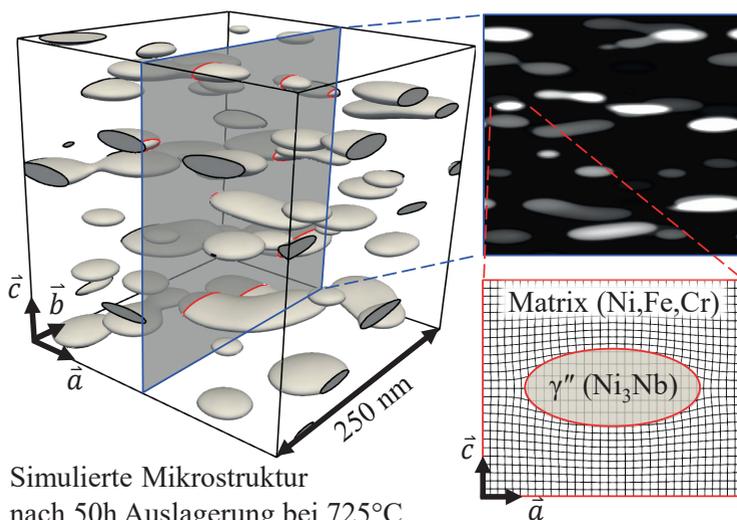


Felix Schleifer

Simulation der Reifung von γ'' -Ausscheidungen in der Legierung IN718



Simulierte Mikrostruktur
nach 50h Auslagerung bei 725°C

Simulation der Reifung von γ'' -Ausscheidungen in der Legierung IN718

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

von
M. Sc. Felix Schleifer
aus
Bamberg

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Glatzel
Zweitgutachter: Prof. Dr. Ingo Steinbach

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Juli 2021

Lehrstuhl Metallische Werkstoffe
Universität Bayreuth
2021

Berichte aus der Materialwissenschaft

Felix Schleifer

**Simulation der Reifung von γ'' - Ausscheidungen
in der Legierung IN718**

Shaker Verlag
Düren 2021

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., 2021

Copyright Shaker Verlag 2021

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8193-0

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 und Definitionen	3
2.1	Die Mikrostruktur der Legierung IN718	3
2.2	Plattenförmige γ'' -Ausscheidungen	4
2.2.1	Die kohärente Grenzfläche	6
2.2.2	Beschreibung der Form von γ'' -Ausscheidungen	9
2.3	Gleichgewichtsform und Anordnung von Ausscheidungen	13
2.4	γ'' -Mikrostrukturvergrößerung durch Ostwaldreifung	16
3	Materialwissenschaftliche Modellbildung	19
3.1	Phasenfeldmethode	19
3.1.1	Sharp Phase-Field Formulierung	19
3.1.2	Volumenbeiträge zum Phasenfeldmodel	24
3.1.3	Entwicklungsgleichungen	26
3.1.4	Konfiguration einer Simulation in 2D und 3D	28
3.2	Ostwaldreifung mit nicht-sphärischen Ausscheidungen	31
3.2.1	Lifshitz-Slyosov-Wagner-Theorie der Ausscheidungsreifung	31
3.2.2	Modellerweiterung um variable Ausscheidungsform	33
3.3	Methoden zur Bestimmung des Dehnungsfelds einer Ausscheidung	34
3.3.1	Effektive Energiedichte elliptischer Ausscheidungen	34
3.3.2	Relaxationsfunktion für tetragonal anisotrope Elastizität	35
4	Temperaturabhängige Materialparameter	36
4.1	Thermodynamische und kinetische Größen	36
4.2	Elastische Materialdaten	40
4.3	Gitterfehlpassung	44
4.4	Grenzflächenenergiedichte	45
5	Ergebnisse der Simulationsstudien	50
5.1	Elastischer Gleichgewichtszustand	50
5.1.1	Elastisches Feld einer γ'' -Ausscheidung	50
5.1.2	Gleichgewichtsform einer γ'' -Ausscheidung	52
5.1.3	Periodische Anordnung von γ'' -Ausscheidungen	62
5.2	Simulation der γ'' -Ausscheidungsreifung	67

5.2.1	Einfluss der Gitterfehlpassung und der Grenzflächenenergie.....	69
5.2.2	Mikrostruktur während der Reifung.....	73
5.2.3	Quantitative Beschreibung der γ'' -Reifungskinetik.....	75
6	Diskussion der materialwissenschaftlichen Erkenntnisse.....	78
6.1	Simulation der γ'' -Mikrostrukturentwicklung mit dem Phasenfeldmodell.....	78
6.2	Die γ'' -Mikrostruktur in der Legierung IN718.....	79
6.2.1	Einflussfaktoren auf die Form der γ'' -Ausscheidungen.....	79
6.2.2	Experimentell beobachtete Aspektverhältnisse.....	81
6.2.3	Die γ/γ'' -Grenzflächenenergiedichte.....	83
6.2.4	Die γ'' -Ausscheidungsform in der Ebene.....	86
6.3	Reifung von γ'' -Ausscheidungen in IN718.....	88
6.3.1	Die temperaturabhängige γ'' -Reifungskinetik in Simulation und Experiment...	89
6.3.2	Koaleszenz von γ'' -Ausscheidungen.....	93
6.3.3	Ausscheidungsanordnung während der Reifung.....	94
7	Zusammenfassung.....	96
8	Summary.....	98
9	Literaturverzeichnis.....	100
10	Nomenklatur.....	116
10.1	Formelzeichen.....	116
10.2	Abkürzungen.....	119
	Lebenslauf.....	121
	Danksagung.....	122