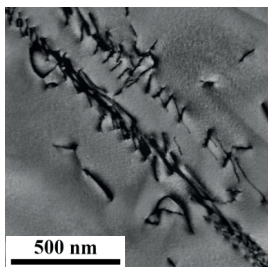
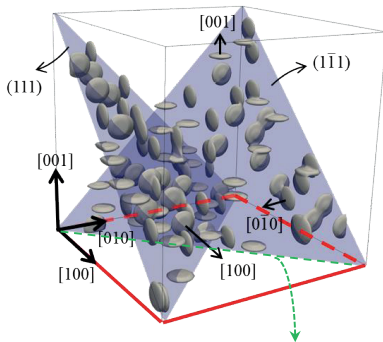
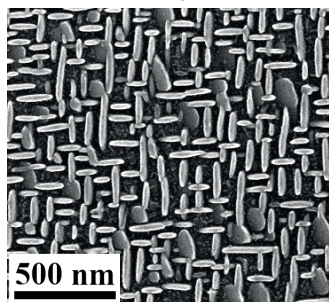


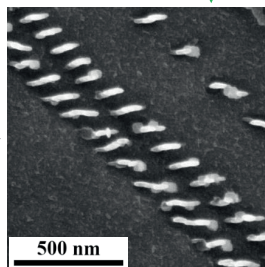
Yueh-Yu Lin

## Ausscheidungs- und Vergrößerungsverhalten der metastabilen $\gamma''$ -Phase in niobhaltigen Nickelbasislegierungen

$\gamma''$  ( $\text{Ni}_3\text{Nb}$ )



Ausgelagert  
bei 760°C



# **Ausscheidungs- und Vergrößerungsverhalten der metastabilen $\gamma''$ -Phase in niobhaltigen Nickelbasislegierungen**

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

von

M. Sc. Yueh-Yu Lin

aus

Taoyuan, Taiwan

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Glatzel  
Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Birgit Skrotzki

Tag der mündlichen Prüfung: 29.06.2021

Lehrstuhl Metallische Werkstoffe  
Universität Bayreuth  
2021



Berichte aus der Materialwissenschaft

Yueh-Yu Lin

**Ausscheidungs- und Vergrößerungsverhalten  
der metastabilen  $\gamma''$ -Phase in niobhaltigen  
Nickelbasislegierungen**

Shaker Verlag  
Düren 2022

**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 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8601-0

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](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Inhaltsverzeichnis

1	Motivation .....	1
2	Grundlagen .....	3
2.1	Niobhaltige Nickelbasislegierungen .....	3
2.1.1	Die Legierung IN718 .....	5
2.1.2	Modifikationen von IN718 .....	12
2.2	Keimbildung der $\gamma''$ -Phase .....	14
2.2.1	Klassische Keimbildung .....	14
2.2.2	Heterogene Keimbildung der $\gamma''$ -Phase .....	15
3	Material und Methoden .....	17
3.1	Simulationsmethoden .....	17
3.1.1	Die CALPHAD-Methode .....	17
3.1.2	Eindimensionale Simulation von Diffusion in Mischkristallen .....	18
3.2	Herstellung und Ausrichtung der einkristallinen Proben .....	20
3.2.1	Vorlegierung im Lichtbogenofen .....	20
3.2.2	Einkristallguss .....	20
3.2.3	Ausrichtung der Proben .....	22
3.3	Wärmebehandlungen .....	23
3.4	Probenpräparation .....	26
3.5	Mikrostrukturelle Charakterisierung .....	28
3.5.1	Lichtmikroskopie .....	28
3.5.2	Rasterelektronenmikroskopie (SEM) .....	28
3.5.3	Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) .....	29
3.5.4	Bestimmung der Ausscheidungsgröße .....	30
3.5.5	Mikroröntgenfluoreszenzanalyse ( $\mu$ -RFA) .....	30
3.5.6	Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) .....	31
3.5.7	Röntgenbeugung (XRD) .....	32
3.5.8	Quantitative Formanalyse von $\gamma''$ -Partikeln mittels invarianter Momente .....	32
4	Ergebnisse .....	36
4.1	Berechnungen mit Thermo-Calc und JmatPro .....	36
4.2	Mikrostrukturuntersuchungen der einkristallinen Proben .....	38
4.2.1	Gusszustand .....	38
4.2.2	Zustand nach der Standardwärmebehandlung „SW“ .....	42

4.2.3	Zustand nach 24 h Homogenisierung.....	46
4.2.4	Beobachtungen zur Anordnung der $\gamma''$ -Partikel nach der Auslagerung.....	49
4.2.5	Zustand nach der Homogenisierung und langsamer Abkühlung.....	55
4.2.6	Systematische Variation der Auslagerungsparameter.....	57
4.3	Mikrostrukturuntersuchung den polykristallinen Proben.....	64
5	Diskussion.....	67
5.1	Vergleich des Ausscheidungsverhaltens von 718M mit IN718.....	67
5.2	Können die Erkenntnisse von 718M auf die kommerzielle Legierung IN718 angewandt werden?.....	69
5.3	Auslegung der Homogenisierung für einkristallines 718M.....	70
5.3.1	Seigerung von Niob und unerwünschten Phasen.....	70
5.3.2	Abschätzung der Homogenisierungszeit über die Niob-Diffusion.....	72
5.4	Anordnungsszenarien der $\gamma''$ -Ausscheidungen.....	74
5.5	Einfluss unterschiedlicher Wärmebehandlungsparameter.....	81
5.6	Klassifikation der $\gamma''$ -Partikelformen.....	83
5.6.1	Seitenverhältnis der $\gamma''$ -Phase.....	83
5.6.2	Formklassifikation über die invarianten Momente.....	85
6	Zusammenfassung.....	92
7	Summary.....	94
8	Literatur.....	96
	Abkürzungsverzeichnis.....	105
	Liste der eigenen Publikationen.....	107
	Lebenslauf.....	108
	Danksagung.....	109