

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	1
1.1 Problemstellung.....	2
1.2 Zielsetzung.....	3
<b>2. Theoretische Grundlagen</b> .....	4
2.1 Gefüge.....	4
2.1.1 Reversible, elastische Verformung.....	5
2.1.2 Irreversible, plastische Verformung.....	5
2.1.2.1 Versetzungsbewegung.....	5
2.1.2.2 Versetzungsentstehung.....	7
2.1.2.3 Spannungsfeld um Versetzung.....	8
2.1.3 Höhe der Streckgrenze.....	9
2.1.4 Plastische Verformung in realen Werkstoffstrukturen.....	10
2.1.4.1 Kfz-Struktur - Gleitebenen und Versetzungen.....	10
2.1.4.2 Polykristalline Werkstoffe.....	12
2.1.4.3 Zweiphasige Werkstoffe.....	13
2.1.5 TEM-Aufnahmen von Gitterfehlern.....	14
2.2 Morphologie.....	15
2.2.1 Lichtmikroskopie.....	15
2.2.2 Elektronenmikroskopie.....	16
2.2.3 Quantitative Gefügeanalyse.....	17
2.3 Eigenschaften und Eigenschaftskennwerte.....	18
2.3.1 Statische Festigkeitskennwerte.....	18
2.3.2 Dynamische Festigkeitskennwerte.....	19
2.3.2.1 Wöhlerlinie.....	21
2.3.2.2 Wechselverformungskurve.....	21
2.3.2.3 Zyklische Spannungs-Dehnungskurve.....	22

<b>2.4 Korrelation von Gefüge und Eigenschaften</b> .....	23
2.4.1 Monotone Beanspruchung.....	23
2.4.2 Zyklische Beanspruchung.....	24
<b>2.5 Werkstoffe mit plattenartigen Zweitphasen</b> .....	25
2.5.1 Superlegierungen.....	25
2.5.2 Die Nickelbasislegierung IN 718.....	26
<b>2.6 Mikrostrukturelle Spannungsberechnung mit Hilfe der Finiten Element Methode</b> ..	28
2.6.1 Die Finite Element Methode.....	28
2.6.2 Simulation und Modellierung in der Werkstofftechnik.....	29
2.6.3 Simulation und Modellierung in der Werkstofftechnik mit Berücksichtigung der Mikrostruktur.....	29
2.6.4 Problemanalyse der mikrostrukturellen Simulation.....	30
2.6.4.1 Geometrische Abbildung des Gefüges.....	31
2.6.4.2 Äußere und innere Randbedingungen.....	32
2.6.4.3 Gefügekenwerte.....	33
<b>3. Aufgabenstellung und Lösungsweg</b> .....	34
<b>4. Versuchsdurchführung</b> .....	37
4.1 Versuchswerkstoff.....	37
4.2 Wärmebehandlung.....	38
4.3 Morphologie.....	38
4.3.1 Metallographische Untersuchungsverfahren.....	38
4.3.2 Quantitative Gefügeanalyse.....	39
4.3.3 Elektronenmikroskopische Untersuchungsverfahren.....	39
4.4 Kennwertermittlung.....	40
4.4.1 Probenform.....	40
4.4.2 Zugprüfung.....	41
4.4.2.1 Prüfmaschine.....	41
4.4.2.2 Versuchsdurchführung - Zugversuch.....	41

4.4.3 Dynamische Prüfung.....	42
4.4.3.1 Prüfmaschinen.....	42
4.4.3.2 Versuchsdurchführung - Wöhlerversuch.....	44
4.4.3.3 Versuchsdurchführung - Dehnungswechselversuch.....	44
4.4.3.4 Versuchsdurchführung - Incremental Step Test.....	46
<b>4.5 Mikrostrukturelle Simulation.....</b>	<b>47</b>
4.5.1 Finite Element Modell.....	47
4.5.2 Entwicklung eines automatischen Preprozessors.....	48
4.5.2.1 Anforderungsliste.....	48
4.5.2.2 Hard- und Software.....	49
4.5.3 Modifiziertes Quad-tree-Verfahren.....	50
4.5.3.1 Funktionsweise des Quad-tree-Verfahrens.....	50
4.5.4 Ermittlung der Gefügeparameter.....	53
4.5.4.1 Direkte Kennwertermittlung.....	53
4.5.4.2 Indirekte Kennwertermittlung.....	56
4.5.5 Genauigkeitsbetrachtung der Gefügeparameter.....	57
<b>4.6 Ziel der mikrostrukturellen Simulation.....</b>	<b>59</b>
<b>5. Untersuchungsergebnisse.....</b>	<b>60</b>
<b>5.1 Metallographie.....</b>	<b>60</b>
5.1.1 Gefüge des Untersuchungswerkstoffs.....	60
5.1.2 Quantitative Gefügeparameter.....	63
<b>5.2 Eigenschaftskennwerte.....</b>	<b>65</b>
5.2.1 Statische Festigkeitskennwerte.....	65
5.2.2 Dynamische Festigkeitskennwerte.....	66
5.2.2.1 Wöhlerversuch.....	66
5.2.2.2 Dehnungswechselversuch.....	67
5.2.2.3 Incremental Step Test (IST).....	71
<b>5.3 Morphologie.....</b>	<b>74</b>
5.3.1 Mikrofraktographie.....	74
5.3.1.1 Statische Beanspruchung.....	74
5.3.1.2 Dynamische Beanspruchung.....	74

5.3.2 Versetzungsstruktur.....	75
5.3.2.1 Versetzungsstruktur im Wechselverformungsversuch.....	76
5.3.2.2 Versetzungsstruktur im Incremental Step Test.....	79
<b>5.4 Mikrostrukturelle Simulation.....</b>	<b>82</b>
5.4.1 Orientierungseinfluß der $\delta$ -Phase.....	82
5.4.1.1 Von-Mises-Spannungen im Modellgefüge.....	83
5.4.1.2 Spannungskomponenten im Zentrum der Zweitphase.....	84
5.4.1.3 Matrixspannungen.....	86
5.4.1.4 Gesamtverschiebungen.....	87
5.4.1.5 Spannungsverlauf in der Zweitphase.....	88
5.4.2 Realgefügemodellierung.....	90
5.4.2.1 Gesamtverschiebungen des Gefüges.....	97
5.4.2.2 Spannungsverlauf in der Zweitphase.....	98
5.4.2.3 Spannungsverlauf im Gefüge.....	100
5.4.3 Schädigungsverhalten der $\delta$ -Phase.....	100
<b>6. Diskussion der Ergebnisse.....</b>	<b>103</b>
<b>6.1 Statische Beanspruchung.....</b>	<b>103</b>
6.1.1 Experimentelle Versuchsergebnisse.....	103
6.1.2 Ergebnisse der mikrostrukturellen Simulation.....	104
<b>6.2 Dynamische Beanspruchung.....</b>	<b>109</b>
<b>6.3 Werkstoffmodellierung.....</b>	<b>112</b>
<b>7. Zusammenfassung.....</b>	<b>114</b>
<b>8. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>120</b>