

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Formelzeichen	III
1 Motivation und Zielsetzung.....	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Gerichtet erstarrte Nickelbasis-Superlegierungen	3
2.1.1 Legierungsentwicklung.....	3
2.1.2 Prozesstechnik-HRS Vakuum-Feinguss	5
2.1.3 Erstarrung	7
2.1.4 Bevorzugte Wachstumsrichtung.....	13
2.1.5 Mikrostruktur	14
2.2 Heißrisse.....	16
2.2.1 Modelle zur Beschreibung der Heißrisseigung.....	16
2.2.2 Experimentelle Bestimmung der Heißrisseigung.....	23
2.3 Grundgleichungen zur Beschreibung des Wärmetransports	25
2.4 Mikrostrukturentwicklung nach der Phasenfeldmethode.....	29
2.4.1 Multiphasenfeld- und Multidiffusionsgleichungen	29
2.4.2 Thermodynamische Triebkraft.....	37
2.5 Modelle zur Beschreibung der Grenzflächenenergie	39
2.5.1 Classical Nucleation Theory (CNT).....	39
2.5.2 General Nearest-Neighbor Broken-Bond (NNBB) Modell	40
3 Experimentelles Vorgehen.....	42
3.1 Legierungsserie Turbo.....	42
3.1.1 Statistische Versuchsplanung	43
3.1.2 Legierungsherstellung	45
3.2 HRS-Vakuum-Feingießanlage	46
3.3 Formschalen und Gusskörpergeometrie.....	48
3.4 Probenpräparation	51
3.4.1 Makroskopische Probenpräparation.....	51
3.4.2 Position der Probenentnahme.....	51
3.4.3 Mikroskopische Probenpräparation.....	52
3.5 Mikrostrukturelle Gefügeanalysen	52
3.5.1 Messung des Dendritenstammabstandes	52
3.5.2 Messung der Verteilung des γ/γ -Eutektikums	53
3.5.3 Glimmentladungsspektrometrie (GDOES)	54
3.5.4 Rückstreuелеlektronenbeugung (EBSD)	54
3.6 Mechanische Eigenschaften	54
3.6.1 Probenherstellung	54
3.6.2 Heißzugversuche	55

4	Ergebnisse der experimentellen Arbeiten.....	58
4.1	Gerichtete Erstarrung (DS) von zylinderförmigen Gussteilen.....	58
4.1.1	Dendritenstammabstand	58
4.1.2	Volumenanteil und Morphologie des γ/γ' -Eutektikums	59
4.1.3	Überprüfung der Legierungszusammensetzung.....	63
4.2	Gerichtete Erstarrung (SC) von Plattengeometrien.....	64
4.3	Festigkeit des Gussgefüges bei der Erstarrung	65
4.3.1	Heißzugversuch (Gleeble-Test).....	65
4.3.2	Gießbarkeitstest	67
5	Ergebnisse der numerischen Arbeiten.....	70
5.1	Numerische Untersuchung der Prozessbedingungen	70
5.1.1	Modellierung HRS-Prozess	70
5.1.2	Berechnung geeigneter Prozessparameter	73
5.2	Numerische Untersuchungen zur Entwicklung der Mikrostruktur	79
5.2.1	Mikrostrukturentwicklung in Abhängigkeit von der Grenzflächenenergie	79
5.2.2	Modell zur Berechnung der Grenzflächenenergie	81
6	Diskussion	87
6.1	Einfluss der Legierungselemente auf die Erstarrungsmorphologie	87
6.2	Bewertung der Festigkeit des Gussgefüges bei der Erstarrung	90
6.2.1	Heißzugversuch.....	90
6.2.2	Gießbarkeitstest	92
6.3	Bewertung der Erstarrungsmodellierung.....	94
6.3.1	Berechnung von Erstarrungsbedingungen	94
6.3.2	Mikrostrukturentwicklung nach der Phasenfeldmethode	95
6.3.3	Berechnung der Grenzflächenenergie.....	99
7	Zusammenfassung und Ausblick	102
	Literaturverzeichnis.....	104
Anhang A.	Energieinhalte der Phasen	113
Anhang B.	Entwicklung der Multiphasenfeldgleichungen	115
Anhang C.	Berechnungen zur Anzahl der Atome in der Grenzfläche	118
Anhang D.	Stoffdaten für die Simulation	119
Anhang E.	Stabilitätsgrenze	120
Anhang F.	Einstellungen für die Erstarrungssimulation mit ProCAST	121
Anhang G.	Einstellungen für die Mikrostruktursimulation mit MICRESS	122
Anhang H.	Erstarrungsintervall im Gusszustand	124