

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG.....	1
2. THEORETISCHE VORBETRACHTUNG DES PROZESSES	3
2.1. Der Stranggießprozess	3
2.1.1. Ablauf des Prozesses.....	3
2.1.2. Aufbau einer Stranggießkokille.....	5
2.1.3. Oszillation	6
2.1.4. Gießpulver	8
2.2. Wärmetransport am Strang	11
2.2.1. Grundlagen der Wärmeübertragung.....	11
2.2.2. Wärmestromdichte in der Kokille	15
2.2.2.1. Wärmedurchgangsschichten	15
2.2.2.2. Integrale Wärmestromdichte.....	17
2.2.2.3. Lokale Wärmestromdichte	18
2.3. Erstarrung von Stahl.....	21
2.3.1. Keimbildung und Kristallwachstum	21
2.3.2. Erstarrungsphasen von Stahl	25
2.3.3. Peritektische Umwandlung	27
2.3.4. Ausbildung des Erstarrungsgefüges.....	29
2.3.5. Seigerung und Ausscheidungsbildung	32
2.3.6. Schrumpfung bei der Erstarrung von Stahl.....	34
2.4. Fehlstellenbildung bei der Erstarrung	36
2.4.1. Mechanische Eigenschaften im Hochtemperaturbereich	38
2.4.2. Mechanisch-thermische Vorgänge in der Kokille	40
2.4.3. Mechanisch-thermische Vorgänge in der Sekundärkühlzone	44
2.4.4. Ausbildung von Regenrinnenrissen	46
3. METHODIK ZUR TEMPERATURMESSUNG IN DER STRANGGIEßKOKILLE	51
3.1. Temperaturmessung mittels Thermoelemente	52
3.2. Ermittlung des integralen Wärmestroms über die Wassertemperatur	53
3.3. Implementierung der Temperaturmessung mit faseroptischen Sensoren.....	53
3.3.1. Funktionsprinzip der Faser-Bragg-Gitter-Sensoren	54
3.3.2. Integration und Datenübertragung.....	57
4. MODELLIERUNG DER WÄRMEABFUHR IN DER PRIMÄRKÜHLZONE	59
4.1. Modellierung der lokalen Wassertemperatur	60
4.2. Bestimmung der lokalen Wärmestromdichte.....	61
4.2.1. Empirische Berechnung der lokalen Wärmestromdichte	62
4.2.2. Analytische Berechnung der lokalen Wärmestromdichte	64

4.3.	Modellierung der Wärmedurchgangsschichten	65
4.3.1.	Bestimmung der Strangschalendicke	66
4.3.2.	Bestimmung der Oberflächentemperatur des Stranges	69
4.3.3.	Bestimmung der Kokillenheißseitentemperatur	69
4.3.4.	Bestimmung des Warmewiderstands im Gießspalt	70
4.3.5.	Bestimmung der lokalen Abkühlraten und Erstarrungszeiten	71
5.	EXPERIMENTELLE UND THEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN	73
5.1.	Bewertung der Brammenqualität	73
5.2.	Variation der integralen Wärmestromverhältnisse	73
5.3.	Untersuchung der lokalen Wärmestromdichte	74
5.3.1.	Variation der Stahlsorte	75
5.3.2.	Variation der Konizität	79
5.4.	Untersuchung des Entstehungsmechanismus von Regenrinnen	79
5.5.	Validierung mit resultierendem Gefüge	80
6.	ERGEBNISSE UND VORDISKUSSION	83
6.1.	Beschreibung der Regenrinnenrisse	83
6.2.	Integrale Wärmestromdichte von Schmal- und Breitseiten	86
6.2.1.	Einfluss der Stahlsorte auf die integrale Wärmestromdichte	86
6.2.2.	Einfluss der Konizität auf die integrale Wärmestromdichte	88
6.3.	Gemessene Temperaturfelder	90
6.3.1.	Temperaturverteilung über die Schmalseiten	90
6.3.2.	Temperaturverteilung über die Breitseiten	92
6.4.	Einstellung der Wärmeabfuhr in der Kokille	96
6.4.1.	Einfluss der Stahlsorte auf die Wärmeabfuhr	97
6.4.2.	Einfluss der Konizität auf die Wärmeabfuhr	102
6.5.	Ausbildung der Strangschale	104
6.5.1.	Lokaler Erstarrungsverlauf (Modell)	104
6.5.2.	Oberflächentemperatur des Stranges	111
6.6.	Temperaturentwicklung in der Kokille	116
6.6.1.	Bestimmung der Temperatur der Kokillenheißseite	116
6.6.2.	Modellierung des Warmewiderstandes im Gießspalt	117
6.7.	Resultierendes Erstarrungsgefüge und lokale Abkühlraten	122
6.8.	Verformungen der Schmalseite	126
6.9.	Erstarrungsverlauf beim Auftreten von Regenrinnenrisen	128
7.	DISKUSSION	135
7.1.	Erstarrungsablauf	135
7.2.	Verformung der Strangschale	138
7.3.	Einstellung der Wärmeabfuhr	140

7.3.1.	Konizität	141
7.3.2.	Stahlsorte und Gießpulver.....	143
7.3.3.	Mögliche Anpassung der lokalen Wärmeabfuhr	147
7.4.	Ausbildung von Regenrinnen.....	149
7.5.	Gegenmaßnahmen zu Regenrinnenrissen	151
8.	AUSBLICK	155
9.	ZUSAMMENFASSUNG.....	157
10.	LITERATUR	159