

Hartmut Felix Ricken

Stranggießen

**mit Flüssigmetall als Wärmekopplung
zwischen Kokille und Kühler**

utg

HIERONYMUS

2009

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Verzeichnis der Kurzzeichen und Einheiten	V
1 Kurzfassung	1
2 Einleitung.....	2
2.1 Stranggießen allgemein.....	2
2.2 Horizontales Stranggießen von Bandformaten	5
3 Problemstellung.....	7
4 Stand der Technik.....	12
4.1 Kupferlegierungen und ihre Verwendung	12
4.2 Die Legierung CuSn6	13
4.2.1 Grundlagen	13
4.2.2 Ablauf der Erstarrung	14
4.2.3 Kristallstruktur an der Strangoberfläche	16
4.2.4 Defekte in der Strangschale von Gussbändern.....	16
4.2.5 Lage der thermischen Mitte.....	18
4.2.6 Sekundärdendritenarmabstand und Erstarrungsgeschwindigkeit	18
4.2.7 Weiterverarbeitung zu Walzbändern	20
4.3 Vergleich von Zink mit CuSn6	22
4.4 Gießkinematik.....	23
4.5 Bauformen von Kokille und Kühler.....	24
4.5.1 Verschraubungen.....	25
4.5.2 Kokille mit Graphit eingelassenen Kühlrohren.....	26
4.5.3 Unterdruck und Vakuum zwischen Kokille und Kühler, Wärmeleitpaste	27
4.5.4 Gasfüllung zwischen Kokille und Kühler	27
4.5.5 Flüssiges Metall als Kühlstoff	28

4.5.6	Direkte Kühlung des Stranges mit flüssigem Metall	31
4.6	Temperaturmessung und Wärmeströme	33
5	Zielsetzung	34
6	Lösungsansatz.....	35
7	Vorgehensweise.....	40
8	Simulationsstudie	42
8.1	Ziel der Simulationsrechnungen	42
8.2	Anforderungen an die Simulation	42
8.3	Softwarekonzept	42
8.4	Modellbildung	43
8.5	Simulationsergebnisse.....	45
8.6	Diskussion	49
9	Versuchseinrichtungen und Messgeräte.....	50
9.1	Versuchseinrichtungen	50
9.1.1	Stranggießanlage.....	50
9.1.2	Kokillenbaugruppe mit geklemmter Kokille	51
9.1.3	Kokillenbaugruppe mit Flüssigmetallkopplung	52
9.1.4	Kokillengraphit.....	54
9.1.5	Walzwerk	55
9.1.6	Wärmebehandlungsöfen	56
9.2	Messgeräte	56
9.2.1	Temperaturmessung	56
9.2.2	Mikroskop.....	56
9.2.3	Mikro-Härtemesser.....	56
10	Versuchsdurchführung	57
10.1	Vorversuche Stranggießen mit Zink.....	57
10.2	Hauptversuche Stranggießen mit CuSn6	57
10.2.1	Instrumentierung der Kokille mit Thermoelementen.....	57

10.2.2	Anfahren des Gießprozesses.....	59
10.2.3	Stationärer Gießbetrieb.....	61
10.3	Weiterverarbeitung der Gussstränge.....	64
10.4	Gefügeuntersuchungen.....	65
10.5	Härtemessung.....	68
11	Ergebnisse.....	69
11.1	Vorversuche Stranggießen mit Zink.....	69
11.2	Hauptversuche Stranggießen mit CuSn6.....	72
11.3	Temperaturmessung.....	74
11.3.1	Konventionelle geklemmte Kokille.....	74
11.3.2	Flüssigmetallkopplung 3 mm.....	77
11.3.3	Flüssigmetallkopplung 6 mm.....	83
11.3.4	Vergleich 3 mm und 6 mm Flüssigmetallkopplung.....	85
11.3.5	Vergleich der Bandaustrittstemperaturen.....	90
11.3.6	Lokaler Wärmestrom durch die Kokille.....	93
11.3.7	Globaler Wärmestrom durch die Kokille.....	97
11.3.8	Zusammenfassung.....	98
11.4	Eigenschaften der CuSn6-Bänder im Gusszustand.....	99
11.4.1	Hubmarke und Anlagenkonfiguration.....	99
11.4.2	Kristallstruktur an der Bandoberfläche.....	100
11.4.3	Defekte in der Strangschale.....	105
11.4.4	Lage der thermischen Mitte.....	107
11.4.5	Sekundärdendritenarmabstand (SDAS).....	109
11.4.6	Zusammenfassung.....	114
11.5	Kalt verformtes Gefüge.....	116
11.5.1	Korngrenzen.....	116
11.5.2	Härte.....	118
11.6	Wärmebehandeltes Gefüge.....	120

12 Zusammenfassung und Ausblick..... 128**13 Verzeichnisse 129**

13.1 Verzeichnis der Abbildungen 129

13.2 Verzeichnis der Diagramme 132

13.3 Verzeichnis der Tabellen 134

13.4 Verzeichnis der zitierten Literatur 136

13.5 Verzeichnis der verwendeten Normen 138

13.6 Verzeichnis der zitierten Patente 139