

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Abbildungsverzeichnis | x |
| Tabellenverzeichnis | xiv |
| Abkürzungsverzeichnis | xv |
| Symbolverzeichnis | xvii |
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1. Bedeutung des Stranggießens | 1 |
| 1.2. Motivation | 1 |
| 1.3. Zielstellung und Aufbau der Arbeit | 5 |
| 2. Grundlagen | 7 |
| 2.1. Stranggießen | 7 |
| 2.1.1. Das Gussverfahren | 7 |
| 2.1.2. Die Kokillenströmung beim Brammenguss | 10 |
| 2.1.3. Einsatz von Magnetfeldern beim Strangguss | 15 |
| 2.2. Magnetfeldwirkung auf eine Strahlströmung | 18 |
| 2.2.1. Impulserhaltung | 18 |
| 2.2.2. Energiebilanz | 20 |
| 2.2.3. Umstrukturierung der Strömung durch Lorentzkräfte | 21 |
| 2.2.4. Magnetfeldwirkung im Experiment | 23 |
| 2.3. Literaturübersicht über die Wirkung von Magnetfeldern auf die Kokillenströmung | 24 |
| 2.3.1. Methoden zur Modellierung des Stranggusses | 24 |
| 2.3.2. Kokillenströmung | 26 |
| 2.3.3. Kokillenströmung unter Magnetfeldeinfluss | 29 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.3.4. | Die freie Oberfläche in der Kokille | 35 |
| 2.3.5. | Einfluss der elektrischen Randbedingungen . . . | 38 |
| 2.3.6. | Einfluss der Magnetfeldpositionierung | 40 |
| 2.3.7. | Notwendigkeit für weiterführende Modellexperi- mente | 41 |
| 2.4. | Vorüberlegungen zur experimentellen Modellbildung . . | 42 |
| 2.4.1. | Modellfluid | 42 |
| 2.4.2. | Dimensionslose Kennzahlen | 44 |
| 2.4.3. | Ähnlichkeitsbetrachtung | 48 |
| 2.5. | Geschwindigkeitsmesstechnik in Flüssigmetallen | 52 |
| 2.5.1. | Invasive und Indirekte Verfahren | 53 |
| 2.5.2. | Kontaktlose elektromagnetische Verfahren | 57 |
| 2.5.3. | Ultraschall Geschwindigkeitsmessung | 60 |
| 2.5.4. | Auswahl des Messverfahrens | 61 |
| 2.5.5. | Strömungsmessung mittels Ultraschall-Doppler- Velocimetry | 62 |
| 3. | Versuchsaufbau | 69 |
| 3.1. | Der experimentelle Aufbau von Mini-LIMMCAST | 69 |
| 3.1.1. | Verteiler | 70 |
| 3.1.2. | Stopfen | 70 |
| 3.1.3. | Tauchrohr | 71 |
| 3.1.4. | Kokille | 71 |
| 3.2. | Ähnlichkeit | 72 |
| 3.3. | Anlagenbetrieb mit Mini-LIMMCAST | 76 |
| 3.4. | Messung der Mini-LIMMCAST Prozessgrößen | 77 |
| 3.4.1. | Verteilerpegel | 78 |
| 3.4.2. | Stopfenhub | 78 |
| 3.4.3. | Kokillenpegel | 79 |
| 3.4.4. | Druck an Stopfenspitze | 79 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.4.5. | Messwerterfassung | 80 |
| 3.4.6. | Beispielmessung Prozessgrößen | 80 |
| 3.5. | Durchfluss | 82 |
| 3.5.1. | Abschätzung mit der Bernoulli-Gleichung | 82 |
| 3.5.2. | Durchflussberechnung aus dem Verteilerpegel | 87 |
| 3.6. | Die Geschwindigkeitsmessung in der Kokille | 90 |
| 3.7. | Datenverarbeitung | 95 |
| 3.8. | Das statische Magnetfeld – die „Elektromagnetische Bremse“ | 97 |
| 3.9. | Die veränderlichen Versuchsparameter | 99 |
| 3.9.1. | Magnetische Flussdichte | 100 |
| 3.9.2. | Elektrische Leitfähigkeit der Kokillenwände | 100 |
| 3.9.3. | Position der elektromagnetischen Bremse | 101 |
| 4. | Zeitgemittelte Kokillenströmung | 103 |
| 4.1. | Die Kokillenströmung ohne Magnetfeld | 103 |
| 4.2. | Einfluss der magnetischen Flussdichte | 107 |
| 4.3. | Einfluss der Wandleitfähigkeit | 114 |
| 4.4. | Kokillenströmung mit veränderter Bremsenposition | 120 |
| 4.5. | Ausdehnung des Strahles über die Kokillendicke | 121 |
| 5. | Zeitabhängige Kokillenströmung | 127 |
| 5.1. | Lokale Geschwindigkeitsoszillationen | 127 |
| 5.2. | Räumliche Schwankungen des Flüssigmetallstrahles | 132 |
| 5.3. | Symmetrieverhalten zwischen den Kokillenhälften | 140 |
| 5.3.1. | Symmetrie in den horizontalen Geschwindigkeiten | 141 |
| 5.3.2. | Symmetrie in der vertikalen Geschwindigkeit | 143 |
| 5.4. | Beobachtung der freien Oberfläche | 149 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.5. | Frequenzanalyse | 150 |
| 5.5.1. | Frequenzanalyse in den Geschwindigkeitsmessungen | 150 |
| 5.5.2. | Frequenzanalyse des Kokillenpegels | 155 |
| 6. | Diskussion | 157 |
| 6.1. | Vergleich mit bestehenden Ergebnissen | 157 |
| 6.2. | Oszillationen | 161 |
| 6.2.1. | Oszillationen der Strahlauslenkung | 161 |
| 6.2.2. | Turbulenzen in den Scherschichten der Strahlströmung | 166 |
| 6.2.3. | Oszillationen der freien Oberfläche | 169 |
| 6.2.4. | Gegenüberstellung der Oszillationen | 171 |
| 6.3. | Wirkung der elektromagnetischen Bremse auf den Durchfluss | 173 |
| 6.4. | Magnetfeldwirkung auf die Strahlströmung | 176 |
| 7. | Zusammenfassung | 177 |
| 8. | Ausblick | 183 |
| 8.1. | Weitere Untersuchungsschwerpunkte | 183 |
| 8.2. | Neue und verbesserte Messtechniken | 185 |
| 8.3. | Weitere Versuchsanlagen für den Strangguss: Die LIMMCAST-Familie | 190 |
| A. | Anhang | I |
| A.1. | Messwerterfassung | I |
| A.2. | Messtechnik | III |
| A.2.1. | Magnetfeldverteilung – Sonde zur Vermessung des Magnetfeldes | III |
| A.2.2. | Prozessablauf – Druckmessung am Tauchrohr . . | IV |

| | |
|--|-----------|
| A.2.3. Übersicht – Messtechniken Flüssigmetall | IV |
| A.3. Versuchsmatrix | VII |
| Literatur | IX |