

## Inhaltsverzeichnis

|           |  |          |
|-----------|--|----------|
| <b>1</b>  | <b>Geschichtliche Entwicklung des Stranggießens von Stahl</b>  |          |
|           | Maßgebende Ideen und Patente, Vorschläge . . . . .   | 1        |
|           | Erste Versuchsanlagen, Probleme bei Stahl . . . . .  | 4        |
|           | Vergleich Strang – Block (Wirtschaftlichkeit) . . . . .  | 9        |
| <br>      |  |          |
| <b>2</b>  | <b>Einführung in das Stranggießen von Stahl</b>  |          |
|           | Bauarten und Bauhöhen, Anlagenlänge, Gießleistungen und Strangformate,<br>Grenzen des Verfahrens (Qualitäten, Abmessungen) . . . . . | 12<br>18 |
| <br>      |  |          |
| <b>3</b>  | <b>Bauteile der Stranggießanlagen</b>  |          |
| 3.1       | Einrichtungen zur Aufnahme und zum Halten<br>der Gießpfanne . . . . .  | 20       |
| 3.2       | Verteilerrinne und ihre Aufnahmevorrichtungen . . . . .  | 22       |
| 3.3       | Einrichtungen zur Regelung der Stahlzufuhr . . . . .   | 25       |
| 3.3.1     | Schieberverschlüsse für Pfanne und Verteiler . . . . .   | 26       |
| 3.3.2     | Der Stopfen als Regelement . . . . .   | 28       |
| 3.3.3     | Drehbarer Ventilstopfen . . . . .  | 28       |
| 3.4       | Kokille und Hubtisch . . . . .   | 28       |
| 3.4.1     | Allgemeines . . . . .  | 28       |
| 3.4.2     | Aufbau der Plattenkokille . . . . .  | 29       |
| 3.4.2.1   | Kokillenplatten . . . . .  | 30       |
| 3.4.2.1.1 | Breitseiten . . . . .  | 30       |
| 3.4.2.1.2 | Aufbau der Schmalseiten . . . . .  | 30       |
| 3.4.2.2   | Wasserkästen und Kokillenrahmen . . . . .  | 30       |
| 3.4.2.3   | Kokillenfußrollen . . . . .  | 31       |
| 3.4.2.4   | Strangführung unmittelbar unter der Kokille . . . . .  | 31       |
| 3.4.2.5   | Kokillenlänge . . . . .  | 32       |
| 3.4.3     | Werkstoffe für Kokillenplatten . . . . .   | 33       |
| 3.4.3.1   | Kupfer und Kupferlegierungen . . . . .   | 33       |
| 3.4.3.1.1 | DHP-Kupfer . . . . .   | 33       |
| 3.4.3.1.2 | Legiertes Kupfer . . . . .   | 33       |
| 3.4.3.1.3 | Ag-legiertes Kupfer . . . . .  | 34       |
| 3.4.3.2   | Beschichtung der Kokillen-Innenoberfläche . . . . .  | 34       |
| 3.4.4     | Kokillenkonzität . . . . .   | 35       |
| 3.4.5     | Kokillenoszillation . . . . .  | 36       |
| 3.4.6     | Reibungskräfte zwischen Strangschale und Kokille . . . . .   | 37       |
| 3.4.7     | Breiteneinstellung während des Gießvorganges . . . . .   | 37       |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 3.4.7.1   | Breiteneinstellung bei Strangstillstand . . . . .                  | 38 |
| 3.4.7.2   | Kontinuierliche Breitenverstellung . . . . .                       | 39 |
| 3.5       | Strangführung und Strangstützung . . . . .                         | 40 |
| 3.5.1     | Allgemeines . . . . .  | 40 |
| 3.5.2     | Strangführung bei sich selbsttragenden Querschnitten . . . . .     | 40 |
| 3.5.3     | Strangführung bei Brammenquerschnitten . . . . .                   | 41 |
| 3.5.3.1   | Möglichkeiten der Strangstützung . . . . .                         | 41 |
| 3.5.3.2   | Rollen . . . . .   | 42 |
| 3.5.3.3   | Rollenkühlung . . . . .  | 43 |
| 3.5.3.4   | Rollenwerkstoffe . . . . .   | 44 |
| 3.5.3.5   | Einbauarten der Stützrollen, Ausrichtung und Einstellung . . . . . | 45 |
| 3.5.4     | Strangantrieb . . . . .  | 46 |
| 3.5.4.1   | Strangausziehkräfte bei verschiedenen Anlagentypen . . . . .       | 47 |
| 3.5.4.2   | Der Vielrollenantrieb . . . . .                                    | 48 |
| 3.6       | Strangtrennen und Ausfördern . . . . .                             | 50 |
| 3.6.1     | Kaltstrang und Kaltstrangaufnahme . . . . .                        | 51 |
| 3.7       | Strangkühlung und Wasserwirtschaft . . . . .                       | 52 |
| 3.7.1     | Kokillenkühlung . . . . .  | 52 |
| 3.7.2     | Strang-Sekundärkühlung . . . . .                                   | 52 |
| 3.7.2.1   | Aufgabe und Möglichkeiten der Spritzwasser-Kühlung . . . . .       | 52 |
| 3.7.2.2   | Spritzkühlung mit Wasser . . . . .                                 | 53 |
| 3.7.2.3   | Spritzkühlung mit Wasser und Luft . . . . .                        | 54 |
| 3.7.2.4   | Wasserversorgung und Aufbereitung . . . . .                        | 54 |
| 3.8       | Prozeßsteuerung und Automatisierung . . . . .                      | 54 |
| 3.8.1     | Allgemeines . . . . .  | 54 |
| 3.8.2     | Automatische Gießspiegelkontrolle . . . . .                        | 56 |
| 3.8.3     | Komponenten der Gießspiegelregelung . . . . .                      | 57 |
| 3.8.3.1   | Meßverfahren . . . . .   | 57 |
| 3.8.3.1.1 | Radiometrische Verfahren . . . . .                                 | 57 |
| 3.8.3.1.2 | Elektromagnetische Verfahren . . . . .                             | 57 |
| 3.8.3.1.3 | Elektrooptische Verfahren . . . . .                                | 58 |
| 3.8.3.1.4 | Thermometrische Verfahren . . . . .                                | 58 |
| 3.8.3.2   | Regelelektronik . . . . .  | 58 |
| 3.8.3.3   | Stellsysteme . . . . .   | 59 |
| 3.8.3.4   | Angießautomatik . . . . .  | 59 |
| 3.8.3.5   | Erkennen von Schlacke . . . . .                                    | 60 |
| 3.8.4     | Automatische Steuerung der Sekundärkühlung . . . . .               | 60 |
| 3.8.5     | Längenmessung und automatischer Gießablauf . . . . .               | 61 |
| 3.8.6     | Aufbau eines Prozeßleit- und Automatisierungssystems . . . . .     | 61 |
| 3.8.6.1   | Steuerungen . . . . .  | 63 |
| 4         | <b>Vorbereitung der Anlage und Betriebsablauf</b>                  |    |
| 4.1       | Einführung . . . . .   | 64 |
| 4.2       | Vorbereitung der Anlage . . . . .                                  | 64 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 4.2.1     | Kontrollen .....  | 64 |
| 4.2.1.1   | Lang- und mittelfristige Kontrollen .....                                       | 64 |
| 4.2.2     | Vorbereitung des Verteilers .....   | 65 |
| 4.2.3     | Vorbereitung und Einfahren der Anfahrkette .....                                | 65 |
| 4.2.4     | Vorbereiten der Kokille .....   | 65 |
| 4.2.4.1   | Einstellung der Kokillenmaße .....  | 66 |
| 4.3       | Gießvorgang .....   | 66 |
| 4.3.1     | Einzuhaltende Gießbedingungen .....   | 67 |
| 4.3.2     | Sequenzguß .....  | 68 |
| 4.3.2.1   | Schlackenerkennungsverfahren .....  | 68 |
| 4.3.3     | Gießende .....  | 68 |
| 4.4       | Verfügbarkeit von Stranggießanlagen und notwendige<br>Instandhaltung .....      | 70 |
| 4.4.1     | Wartung der Kokillen .....  | 70 |
| 4.4.1.1   | Verstellbare Brammenkokillen .....  | 70 |
| 4.4.1.1.1 | Schmalseiten .....  | 70 |
| 4.4.1.1.2 | Breitseiten .....   | 70 |
| 4.4.1.1.3 | Stahlkonstruktion der Kokille .....   | 71 |
| 4.4.1.2   | Rohrkokillen .....  | 71 |
| 4.4.2     | Wartung der Strangführung .....   | 72 |
| 4.5       | Betriebssicherheit und Störungen .....  | 72 |
| 4.5.1     | Durchbruch .....  | 72 |
| 4.5.2     | Strom- oder Medienausfall während des Gusses .....                              | 74 |
| 4.5.3     | Folgen von Bedienungs- und Wartungsfehlern .....                                | 74 |
| <b>5</b>  | <b>Sonderverfahren</b>  |    |
| 5.1       | Verfahren zur Erhöhung der Anlagenauslastung .....                              | 75 |
| 5.1.1     | Zwillings- und Drillingsguß .....   | 75 |
| 5.1.2     | Längsteilen und „Jumbo“-Brammen .....   | 77 |
| 5.1.3     | Strangausziehen mit gleichzeitiger Zugentlastung<br>(Compression Casting) ..... | 78 |
| 5.1.4     | Verformung des Stranges in der Anlage .....                                     | 79 |
| 5.1.5     | Brammenstranggießanlagen mit Kernanpreßzonen .....                              | 80 |
| 5.2       | Stranggießen besonderer Vorblockformate .....                                   | 80 |
| 5.2.1     | Vorprofile für Träger .....   | 80 |
| 5.2.2     | Rundstränge für die Erzeugung nahtloser Rohre .....                             | 81 |
| 5.2.2.1   | Bogenanlagen mit gerader oder gebogener Kokille .....                           | 81 |
| 5.2.2.2   | Rotations-Stranggießanlagen .....   | 82 |
| 5.2.3     | Die Herstellung von Hohlsträngen .....  | 83 |
| 5.3       | Gießen von Dünnbrammen .....  | 84 |
| 5.3.1     | Stranggießen von Stahl in mitlaufenden Formen .....                             | 85 |
| 5.3.1.1   | Das Hazelett-Verfahren .....  | 85 |
| 5.4       | Horizontalstranggieß-Verfahren .....  | 86 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>6</b> | <b>Metallurgie des Stranggießens</b>  |     |
| 6.1      | Behandlung des Stahles in der Pfanne . . . . .  | 89  |
| 6.1.1    | Der schlackenfreie Abstich . . . . .  | 89  |
| 6.2      | Reinheitsgrad von stranggegossenem Halbzeug . . . . .                                   | 90  |
| 6.2.1    | Schutz des flüssigen Stahles gegen Reoxidation . . . . .                                | 91  |
| 6.2.1.1  | Rohre als Abschirmung für den Pfannengießstrahl . . . . .                               | 93  |
| 6.2.1.2  | Das Kammer-Verfahren . . . . .  | 93  |
| 6.2.2    | Schutz des Gießstrahles zwischen Verteiler und Kokille . . . . .                        | 94  |
| 6.2.3    | Entstehung des Einschlußbandes in Bogensträngen . . . . .                               | 96  |
| 6.2.4    | Morphologie und chemische Zusammensetzung<br>der oxidischen Einschlüsse . . . . .       | 97  |
| 6.2.4.1  | Abscheidung der Desoxidationsprodukte . . . . .   | 98  |
| 6.2.4.2  | Einfluß des Verteilers auf den oxidischen Reinheitsgrad . . . . .                       | 98  |
| 6.2.4.3  | Das Zusetzen der Tauchausgüsse . . . . .  | 99  |
| 6.2.4.4  | Vermeidung des Zusetzens von Tauchausgüssen . . . . .                                   | 100 |
| 6.2.5    | Einfluß der Ca-Behandlung des Stahles auf das Stranggießen . . . .                      | 101 |
| 6.2.6    | Behandlung des Stahles im Verteiler . . . . .   | 102 |
| 6.3      | Der Erstarrungsvorgang beim Stranggießen von Stahl . . . . .                            | 103 |
| 6.3.1    | Berechnung der Liquidustemperatur . . . . .   | 104 |
| 6.3.2    | Die Wärmeabfuhr der Kokille . . . . .   | 104 |
| 6.3.2.1  | Die Bildung des Gas-Luftspaltes zwischen Strangschale<br>und Kokillenwand . . . . .     | 105 |
| 6.3.2.2  | Die Wärmeabfuhr über die Kokillenlänge . . . . .  | 106 |
| 6.3.3    | Einflüsse auf die Wärmeabfuhr in der Kokille . . . . .                                  | 106 |
| 6.3.3.1  | Kokillenkonzität . . . . .  | 106 |
| 6.3.3.2  | Verzug der Kokillenhänge . . . . .  | 107 |
| 6.3.3.3  | Einfluß der Stahlzusammensetzung . . . . .  | 107 |
| 6.3.3.4  | Einfluß des Gießhilfsmittels . . . . .  | 108 |
| 6.3.3.5  | Einfluß der Gießgeschwindigkeit . . . . .   | 109 |
| 6.3.3.6  | Sonstige Einflüsse . . . . .  | 110 |
| 6.3.4    | Die Wärmeabfuhr in der Sekundärkühlzone . . . . .                                       | 110 |
| 6.3.4.1  | Der Wärmeübergangskoeffizient der Spritzkühlung . . . . .                               | 111 |
| 6.3.4.2  | Wärmeflußdichte der Spritzkühlarten . . . . .   | 113 |
| 6.3.4.3  | Anteil der Rollenkühlung an der Wärmeabfuhr<br>in der Sekundärkühlzone . . . . .        | 114 |
| 6.3.5    | Vorgänge bei der Erstarrung . . . . .   | 116 |
| 6.3.5.1  | Das Quadratwurzel-Gesetz . . . . .  | 116 |
| 6.3.5.2  | Vorgänge an der Erstarrungsfront . . . . .  | 117 |
| 6.3.6    | Die Erstarrungsstruktur von stranggegossenem Material . . . . .                         | 119 |
| 6.3.6.1  | Die Bildung von Seigerungen, Mikro- und Makroseigerung . . . . .                        | 120 |
| 6.3.6.2  | Kernlunker und Kernporositäten . . . . .  | 121 |
| 6.3.6.3  | Bildung von Sulfidanreicherungen . . . . .  | 121 |
| 6.3.7    | Das elektro-magnetische Rühren und sein Einfluß<br>auf den Erstarrungsvorgang . . . . . | 122 |
| 6.3.7.1  | Theorie des EMS . . . . .   | 123 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 6.3.7.2   | Bauarten der EMS-Systeme . . . . .   | 125 |
| 6.3.7.2.1 | EMS für Knüppel und Vorblöcke . . . . .  | 126 |
| 6.3.7.2.2 | EMS beim Brammenstrangguß . . . . .  | 127 |
| 6.3.7.3   | Einfluß des EMS auf die mechanischen und technologischen<br>Eigenschaften der Fertigprodukte . . . . . | 128 |
| 6.3.8     | Die elektro-magnetische Bremse (EMBR) . . . . .  | 130 |
| 6.4       | Gießpulvertechnik . . . . .  | 131 |
| 6.4.1     | Prüfung der Gießpulver . . . . .   | 132 |
| 6.4.1.1   | Chemische Zusammensetzung der Gießpulver . . . . .   | 132 |
| 6.4.1.2   | Die physikalischen Eigenschaften von Gießpulver<br>und Gießschlacke . . . . .                          | 133 |
| 6.4.2     | Die Bildung der Oszillationsmarken . . . . .   | 137 |
| 6.5       | Strangmechanik, Biegen, Richten, Ausbauchen,<br>Spannungen . . . . .                                   | 138 |
| 6.5.1     | Verhalten der Stähle bei hohen Temperaturen . . . . .  | 139 |
| 6.5.2     | Die Ausbauchung der Strangschale . . . . .   | 141 |
| 6.5.3     | Schalendeformation beim Biegen und Richten<br>mit flüssigem Kern . . . . .                             | 143 |
| 7         | <b>Eigenschaften der gegossenen Stränge vor und nach<br/>der Weiterverarbeitung</b>                    |     |
| 7.1       | Mechanische Eigenschaften . . . . .  | 144 |
| 7.1.1     | Beständigkeit gegen wasserstoffinduzierte Risse . . . . .  | 144 |
| 7.2       | Strangfehler . . . . .   | 146 |
| 7.2.1     | Allgemeines . . . . .  | 146 |
| 7.2.2     | Nomenklatur der Strangfehler . . . . .   | 146 |
| 7.2.3     | Ursachen der Rißbildung und Maßnahmen<br>zu deren Vermeidung . . . . .                                 | 147 |
| 7.2.3.1   | Rißbildung in der Kokille . . . . .  | 147 |
| 7.2.3.1.1 | Längsrißbildung in der Kokille . . . . .   | 148 |
| 7.2.3.1.2 | Querrißbildung in der Kokille . . . . .  | 151 |
| 7.2.3.2   | Bildung von Oberflächenquerrissen in der Sekundärkühlzone . . . . .                                    | 151 |
| 7.2.3.3   | Innenrisse . . . . .   | 153 |
| 7.2.3.3.1 | Innenquerrißbildung in der Strangführung . . . . .   | 154 |
| 7.2.3.3.2 | Innenlängsrißbildung in der Strangführung . . . . .  | 157 |
| 7.2.3.4   | Einfluß der Verformungsgeschwindigkeit . . . . .   | 157 |
| 7.2.4     | Deckel . . . . .   | 158 |
| 7.2.5     | Oxidische Einschlüsse . . . . .  | 159 |
| 7.2.5.1   | Oxidische Einschlüsse in der Oberfläche . . . . .  | 159 |
| 7.2.5.2   | Oxidische Einschlüsse im Strangquerschnitt . . . . .   | 159 |
| 7.2.6     | Oberflächenporen und Randblasen . . . . .  | 159 |
| 7.2.7     | Aufkohlungen der Strangoberfläche . . . . .  | 160 |

---

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 8     | <b>Besondere Verfahrenstechniken</b>   |     |
| 8.1   | Verfahrenstechniken bei der Herstellung von Sonderstählen . . . .                                  | 161 |
| 8.1.1 | Bleche für geschweißte Rohre und für die Offshore-Technik . . . .                                  | 161 |
| 8.1.2 | Hochlegierte und nichtrostende Stähle . . . . .  | 162 |
| 8.1.3 | Automatenstähle . . . . .  | 164 |
| 8.1.4 | Stranggegossener Stahl für die Drahtherstellung . . . . .  | 165 |
| 8.1.5 | Schienen aus Strangguß . . . . .   | 165 |
| 8.1.6 | Strangguß für oberflächenveredeltes Feiblech<br>und Sondertiefziehgüten . . . . .                  | 166 |
| 8.2   | Direkt- und Heißeinsatz von Strängen . . . . .   | 168 |
| 9     | <b>Hilfs- und Nebeneinrichtungen von Stranggießanlagen</b>   |     |
| 9.1   | Einrichtungen zur Vorbereitung von Kokillen<br>und Verteilerrinnen . . . . .                       | 169 |
| 9.2   | Einrichtungen zur Kontrolle und Wartung<br>der Strangführungsbahn . . . . .                        | 170 |
| 9.2.1 | Rollenmaulweiten-Meßschlitten . . . . .  | 170 |
| 9.2.2 | Rollchecker zur Messung des Rollenschlages und der<br>Ausrichtung der Strangführungsbahn . . . . . | 171 |
| 9.2.3 | Kontrollgerät für Spritzdüsen . . . . .  | 173 |
| 9.3   | Inspektionseinrichtungen . . . . .   | 174 |
| 10    | <b>Zukünftige Entwicklungen</b> . . . . .  | 175 |
| 11    | <b>Schrifttumsverzeichnis</b> . . . . .  | 178 |
| 12    | <b>Sachverzeichnis/Sachworte</b> . . . . .   | 188 |