

Von der Computeralgebra zur Anlagenautomatisierung

Erwin A.T. Wosch, Dieter G. Senk
(RWTH Aachen)

erwin.wosch@iehk.rwth-aachen.de

senk@iehk.rwth-aachen.de



Einleitung

Das Thema Produktionssteigerung ohne Qualitätsverlust spielt eine zentrale Rolle im globalen Wettbewerb. Gleichzeitig mit der Weiterentwicklung von Produktionsanlagen und ihrer Automationssysteme werden immer mehr Teilaspekte der grundlegenden Vorgänge experimentell und theoretisch untersucht. Mit Hilfe der Computeralgebra als Entwicklungswerkzeug, können bisher kaum beherrschbare mathematische Ansätze bei der Modellierung industrieller Prozesse in Anwendungs- und Automationsprogramme umgesetzt werden. Hierbei kann die weiter unten beschriebene „analytische Approximation“ eine Schlüsselrolle spielen.

Im Rahmen einer Kooperation zwischen Industrie (S & B Industrial Minerals GmbH, Stollberg Division) und der Hochschule (IEHK der RWTH Aachen) wurden auf physikalischen Gleichungen basierende Partialmodelle des industriell eingesetzten Stahlstranggießprozesses in Form von Software-Tools weiterentwickelt und realisiert. Unter Einbeziehung der Konstruktionsmerkmale und Betriebsparameter der Stranggießmaschinen können auf diese Weise vielfältige Analysen von Prozesszuständen und vergleichende Studien zwischen verschiedenen Anlagen durchgeführt werden. Die Visualisierung der relevanten Modellergebnisse innerhalb kürzester Zeit liefert dabei neue Möglichkeiten zur Prozessoptimierung und Automation. In Abbildung 1 sind die verschiedenen Level 1 & 2 Automationssysteme von Stranggießmaschinen schematisch zusammengefasst [1].

Nach seiner chemischen und thermischen Konditionierung im Stahlwerk wird der Flüssigstahl in Transportpfannen (Fassungsvermögen i.d.R. 100 – 300 t) zur Stranggießmaschine transportiert. Der Pfannendrehurm (siehe Abb. 1, Nr. 1) nimmt die Pfannen (Nr. 2) auf und positioniert sie über dem Stranggießverteiler (Nr. 3) (Tundish), der als Puffer zwischen Pfanne und Kokille (Nr. 4) dient. Dies ist Grundvoraussetzung für konti-

nierliches Gießen. Während des Gießprozesses fließt der Flüssigstahl aus der Pfanne über den Verteiler in die wassergekühlte Kokille, in der die Bildung einer Strangschale erfolgt. Unter der Kokille schließen sich die so genannte Sekundärkühlzone mit der Spritzwasserkühlung der Bramme (Nr. 5), der Strangantrieb, die Richttreiber (Nr. 6) und der Schneidbrenner bzw. die Pendelschere an (Nr. 7).

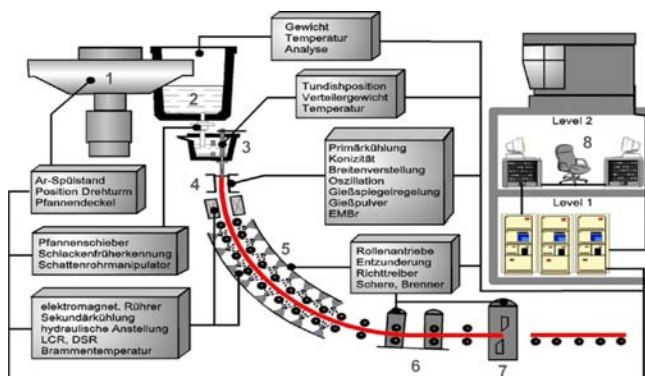


Abbildung 1: Level 1 & 2 Automations-Systeme bei Stranggießmaschinen [1]

Die wirtschaftliche Bedeutung des Stranggießens resultiert aus ihrem Anteil von ca. 94% an der gesamten Stahlherstellung weltweit.

Temperaturführung und Analytische Approximation

Bei der Stahlherstellung führt eine unzureichende Temperaturführung in der Regel zu finanziellen Einbußen (Stichwort: Energiekosten), zu Qualitätsmängeln und zu Produktionsstörungen, insbesondere durch Anlagenstillstände aufgrund von Strangdurchbrüchen. Der Temperaturkontrolle und Temperaturvorhersage des Flüssigstahls kommt somit eine nicht unbedeutende Rolle während der Produktion zu. Pfanne, Tundish und

Kokille bilden ein thermisch gekoppeltes System, das durch drei miteinander wechselwirkende Teilmodelle beschrieben wird. Die ersten beiden Partialmodelle sind in Abbildung 2 gezeigt [2]. Sie enthalten die mathematischen Formulierungen der Stahltemperatur in der Pfanne ($T_{Tundish,1}(t)$ = Mittelwert über das Pfannenvolumen) und der Stahltemperatur im Verteiler ($T_{Tundish,2}(t)$) am Ort der Temperaturmessung (ψ). Hierbei steht T für Temperatur, t für Zeit, m für Masse, Q für Energie. Σ , p und β sind Modellparameter. Details zur physikalischen Bedeutung aller Formelsymbole entnehmen man der Referenz [1].

Die Herleitung der Modellgleichungen erfolgte nach dem Prinzip der analytischen Approximation. Bei der analytischen Approximation werden die wesentlichen physikalischen Zusammenhänge aus den grundlegenden Differentialgleichungen in Form mathematischer Näherungen ermittelt. Als Werkzeug bietet sich hierbei die Computeralgebra an; im gezeigten Beispiel wird dies anhand der Lösung (links unten) der Tundish-Gleichung (Mitte rechts) offensichtlich.

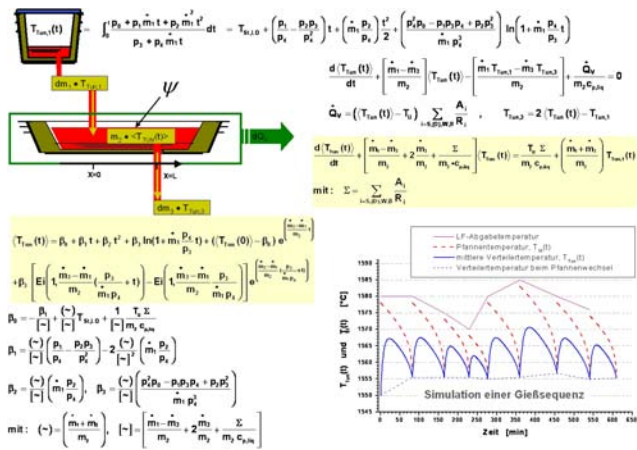


Abbildung 2: Analytisches thermisches Pfanne-Tundish Modell [2]

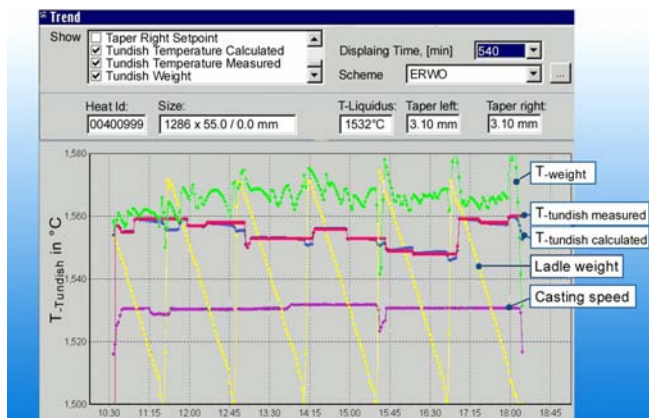


Abbildung 3: Online-Anwendung des Modells im Stahlwerk, Screen Shot [1]

Unten rechts in Abbildung 2 sind die Ergebnisse einer simulierten Gießsequenz aus acht Einzelpfannen dargestellt. Die Bedeutung der Kurven entnehmen man der Legende. Deutlich erkennbar ist das zyklische Auf und Ab

der mittleren Tundishtemperatur, die jeweils beim Pfannenwechsel ein Minimum besitzt.

Auf Basis der in Abbildung 2 gezeigten analytischen Näherung wurde ein Level 2 Programm geschrieben und in der Praxis im Leitstand einer Stranggießmaschine online getestet. Das Ergebnis ist als Screen Shot in Abbildung 3 dokumentiert. Die vom Modell vorhergesagte und die gemessene Verteilertemperatur weichen nur um wenige Grad Celsius voneinander ab [1].

Das Kokillenmodell

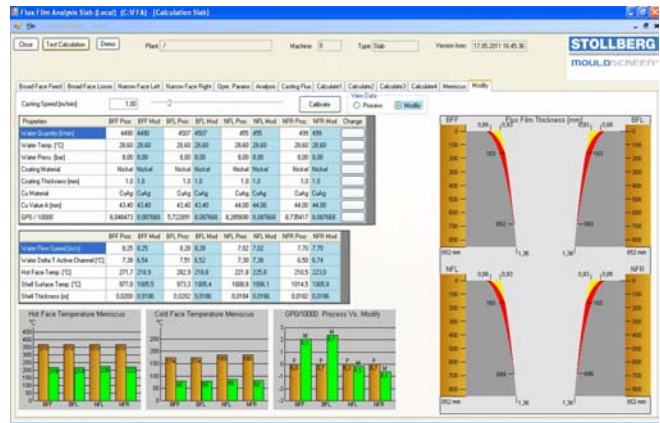


Abbildung 4: Screen Shot der MouldScreen® Software [3]

Als drittes Teilmodell dient ein ebenfalls durch analytische Approximation und Computeralgebra gewonnenes thermisches Modell der Stranggießkokille. Es besteht wie im Falle des Stranggießverteilers aus einem leicht programmierbaren Formelsatz, der unmittelbar aus der Fourierschen Wärmeleitungsgleichung folgt. In Abbildung 4 ist ein Screen Shot des „Modify“-Tools der Software abgebildet. Neben den „Ist-Zustand“ (View Data: Process) kann der Operator eine modifizierte Betriebsweise der Kokille und die hieraus resultierenden Veränderungen in der Kokille aufrufen (View Data: Modify). Die Modifikation einer Auswahl von Anlagenparametern, wie z.B. die Strangabzugsgeschwindigkeit, erfolgt über Schieberegler (links im Bild). Diese „Was passiert, wenn ...“ – Funktionalität gehört in die Kategorie der inversen Online-Modellierung, bei der die analytischen Algorithmen den numerischen deutlich überlegen sind (Rechenzeit und Programmieraufwand).

Aufgrund der hohen Temperaturgradienten im Bereich der Kokille wird die übliche Berechnung der Stoffwerte (Dichte, Wärmeleitfähigkeit, etc.) auf Basis einer einzigen Stoffwertbezugstemperatur durch ein semi-iteratives Rechenverfahren ergänzt. Hierzu wird die Kokille in einem zweiten Rechen-Loop von oben nach unten in Segmente unterteilt. Die Berechnung aller Modellvariablen (Strangschalendicke, lokale Wärmestromdichte, Flux-Film-Dicke, etc.) erfolgt dann mit Hilfe der Differentiale dieser Größen unter Substitution der entsprechenden temperaturabhängigen Stoffwerte.

Zusammenfassung und Ausblick

Obwohl die Computeralgebra in der Mathematik und Physik nach 1968 (Anthony Hearn, REDUCE) immer mehr zum Standardwerkzeug wurde, steht die Numerik in den Ingenieurwissenschaften nach wie vor auf Platz 1 der Hitliste der Modellierungsmethoden. Dies mag einerseits in der Komplexität der Fragestellungen und andererseits in einer Scheu vor abstrakten mathematisch-analytischen Lösungen liegen. Das hier dargelegte Beispiel zur Temperaturführung beim Stranggießen von Stahl zeigt jedoch, dass auch industriell einsetzbare Automatisierungsprogramme auf der Basis computeralgebraischer Entwicklungs- und Forschungstätigkeit realisierbar sind. Insbesondere dann, wenn im industriellen Einsatz kurze Sensor-Aktor-Zyklen gefragt sind, bietet sich die analytische Approximation als Programmierungsgrundlage an. Soll dem Bedienungspersonal einer Anlage ergänzend zur Prozessüberwachung, im Sekundentakt oder kürzer, eine Palette alternativer Betriebs-

modi angeboten werden (Stichwort: inverse Online-Simulation), dann ist dies ohne analytische Rechenalgorithmen kaum möglich.

Literatur

- [1] Wosch, E. A. T. Physikalisch-mathematische Analysen zur Temperaturführung zwischen Pfannenofen und Sekundärkühlung beim Stranggießen von Stahl. *Habilitationsschrift, RWTH Aachen, GRIPS media, Bad Harzburg*, 2006.
- [2] Wosch, E. A. T. Prozeßübergreifende Modellbildung als Beispiel integrativer Lösungen beim Stranggießen von Stahl. *21. Aachener Stahlkolloquium*, 14./15. September 2006.
- [3] Wosch, E. A. T., Hilgenhöner, E. H. Neue Methoden der Stranggießmodellierung, Software visualisiert Eigenschaften des Fluxfilms in der Stranggießkokille. *Stahl & Eisen*, 131 (2011) Nr. 4, p. 80-88.