

Optische Temperaturmessung von flüssigen Metallen

von Albert Book

Die Temperatur ist bei Herstellung von Erzeugnissen aus flüssigem Metall eine der wichtigsten physikalischen Einflussgrößen für die Qualität, Festigkeit und Verarbeitungseigenschaft. Dank moderner Infrarotthermometer kann heute die Temperatur des flüssigen Metalls berührungslos in den verschiedenen Produktionsschritten kontinuierlich überwacht werden. Zudem lassen sich enorme Kosten durch die Reduzierung der Verbräuche an Messsonden und der Minimierung der Produktion von Ausschussteilen einsparen.



Bild 1 *Herkömmliche Temperaturmessung von flüssigem Metall mit der Tauchsonde*

Nachteile bisheriger Temperaturmessverfahren

Üblicherweise wird die Temperatur von flüssigem Metall mit Thermoelemente ermittelt (**Bild 1**). Dazu wird die Messsonde in die Schmelze eingetaucht. Die Messgenauigkeit ist vom Bediener d.h. von der Messposition und Eintauchtiefe abhängig. Anbackungen von Schlacke an der Messsonde können zudem zu erheblichen Messfehlern führen. Letztendlich entstehen bei jeder Messung Kosten durch den Verbrauch der Messsonden. Über das Jahr gesehen fallen dadurch mehrere Tausend Euro an.

Um diese Nachteile zu umgehen, wurden schon vor längerer Zeit Versuche unternommen, die Temperatur auf optischem Weg mit sogenannten Infrarotthermometern oder Pyrometern zu messen. Sehr erfolgreich wird die Infrarotmessung seit vielen Jahren in vielen industriellen Bereichen der Stahl-, Keramik-, Glas- oder Zementindustrie eingesetzt.

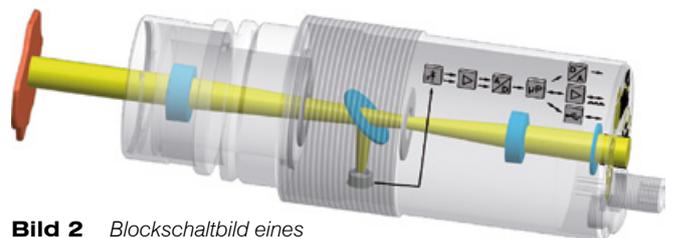


Bild 2 *Blockschaltbild eines Quotientenpyrometers mit Durchblick-Visier*

Grundlagen der pyrometrischen Temperaturmessung

Die Grundlagen wurden durch Max Planck zu Beginn des letzten Jahrhunderts gelegt. Bei der pyrometrischen Temperaturmessung wird die von der Oberfläche des Messobjektes abgestrahlte Infrarot- oder Wärmestrahlung von einem Sensor erfasst (**Bild 2**). Die Höhe der Strahlung ist von der Temperatur sowie von der Strahlungseigenschaft der Messfläche,

dem sogenannten Emissionsgrad, abhängig. Nach der Verstärkung und Linearisierung steht ein temperaturproportionales Ausgangssignal zur Verfügung. Eine Linse im Pyrometer sorgt dafür, dass die Strahlung nur aus einem definierten Messfeld empfangen wird. Die Brennweite der Linse und die Geometrie der optischen Komponenten legen die Form des Messfeldes sowie die Größe in Abhängigkeit des Messabstandes fest.

Optische Temperaturmessung von Metallen

Die Besonderheit der optischen Messung von flüssigem Metall liegt darin, dass sich auf der Oberfläche von Metallen sehr schnell Oxid und Schlacke bilden. Im Vergleich zum blanken Metall strahlt Schlacke und Oxid bei gleicher Temperatur deutlich mehr Wärmestrahlung ab. Für eine korrekte Messung ist es daher zwingend erforderlich, dass das Pyrometer nur die Strahlung der blanken Oberfläche auswertet. Dies wurde durch den Einsatz moderner Quotientenpyrometer in Verbindung mit einer speziellen ATD (Automatic Temperature Detection) Funktion möglich. Moderne Quotienten- oder Zweifarbenpyrometer erfassen die Wärmestrahlung zeit- und ortsgleich an zwei Wellenlängen. Aus dem Quotient der beiden Strahlungsintensitäten wird ein temperaturproportionales Signal ermittelt. Durch entsprechende Auswertungen der Strahlungsintensitäten wird die Temperatur des schlacke- und oxidfreien Metalls herausgefiltert. Zudem reagieren Quotientenpyrometer im Vergleich zu Spektral- oder Einkanalpyrometern wesentlich unempfindlicher auf Staub und Dampf im Sichtfeld und werden daher bevorzugt in rauen Industrieumgebungen eingesetzt.

Messsysteme für die verschiedenen Messstellen

Für die verschiedenen Stellen in Stahlwerken und Gießereien, an denen das flüssige Metall gemessen wird, werden unterschiedliche Anforderungen an das Messsystem gestellt.

a) Messstelle Hochofen und Kupolofenrinne

Die Ermittlung der Temperatur in der Rinne eines Hochofens oder Kupolofens erfolgt klassischer Weise nur sehr sporadisch mittels Messsonden. Pyrometer hingegen messen kontinuierlich die Temperatur (**Bild 3**). Damit kann bei Bedarf unmittelbar in den Schmelzprozess eingegriffen werden. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten können die Pyrometer oft nur in großer Entfernung montiert werden. Dies fordert von den Geräten eine sehr gute optische Auflösung und Abbildungseigenschaft. Je



Bild 3 Messung an der Abstichrinne eines Hochofens aus großer Messentfernung

kleiner das Messfeld, desto sicherer werden die schlacke- und oxidfreien Stellen detektiert. Zur optischen Ausrichtung und Kontrolle des Messfeldes sind die Geräte mit einer Durchblick-Optik oder einem Laser-Pilotlicht ausgestattet. Als weitere Alternative werden neuerdings Pyrometer mit einer integrierten Videokamera eingesetzt. Auf dem Monitor im Leitstand ist somit die Messstelle und Ausrichtung des Pyrometers jederzeit überprüfbar.

b) Messstelle Schmelz- und Warmhalteofen

Große Bedeutung hat die Temperatur der Schmelze beim Umfüllen vom Schmelz- oder Warmhalteofen in die Transportpfanne oder Gießpfanne (**Bild 4**). Abhängig von der Temperatur und der Transportzeit bis zur Gießanlage muss die Schmelze



Bild 4 Umfüllen des Eisens vom Schmelzofen in die Gießpfanne

innerhalb einer bestimmten Zeit vergossen werden. Bei einer Abkühlung von ca. 10 °C pro Minute besteht ansonsten die Gefahr der Unterschreitung der minimal zulässigen Abgusstemperatur. Auch bei dieser Messstelle werden aufgrund der üblicherweise großen Messentfernungen Geräte mit rundem Messfeld und hoher optischer Auflösung eingesetzt. Die ATD-Funktion dient hier neben der Filterung der oxid- und schlackefreien Oberfläche zusätzlich dazu, den Beginn und das Ende des Umfüllens automatisch zu erfassen. Nach dem Umfüllen wird der Messwert angezeigt und zu einem Datenerfassungssystem übertragen. Alternativ kann zur Dokumentation auch die autark arbeitende PC Software CellaMevis eingesetzt werden. Die Messwerte werden mit Zeitstempel online grafisch dargestellt und automatisch zu definierten Perioden gespeichert.

c) Messstelle Gießautomat

Die Temperatur, bei der das flüssige Metall in die Form gegossen wird, bestimmt entscheidend die spätere Qualität des Gussteils. Ist die Schmelze zu heiß, besteht die Gefahr der Beschädigung der Sandkerne. Bei zu niedriger Schmelztemperatur wird das Metall zähflüssig. Insbesondere bei komplexen und dünnwandigen Gussteilen wäre die gleichmäßige Verteilung innerhalb der Form nicht mehr gewährleistet. Es besteht die Gefahr der Lunkerbildung und damit der Produktion von Kaltschweiß. Darüber hinaus hat die Gießtemperatur einen Einfluss auf die spätere mechanische Festigkeit sowie die Eigenschaft zur Bearbeitung des Werkstücks. Daher ist es an dieser Messstelle besonders wichtig, die Temperatur so genau wie möglich zu erfassen und einzuhalten.

An vollautomatischen Gießanlagen wird die Temperatur oft nur sporadisch mit der Tauchlanze in der Rinne überprüft. Bei halbautomatischen Gießautomaten wird die Temperatur der Schmelze üblicherweise nur einmalig bei einer neu gefüllten Gießpfanne kontrolliert. Die Messung findet innerhalb der Pfanne und damit bereits vor dem Befüllen der ersten Form statt. Damit entsteht abhängig von der Anzahl der zu gießenden Formen ein zeitlicher Versatz zwischen der Messung und dem Abguss. Der Anlagenbediener bestimmt rein aus dem Fließverhalten und der empirischen Kenntnis der Abkühlzeit der Schmelze, wie viele Teile mit einer Pfanne gegossen werden können. Eine messtechnische Überprüfung, ob insbesondere bei den letzten Formen die minimal zulässige Gießtemperatur auch wirklich eingehalten wurde, findet nicht statt.

Bei der optischen Temperaturmessung an Gießautomaten wird das Pyrometer auf den frei fallenden Gießstrahl unmittelbar beim Befüllen der Formen ausgerichtet (**Bild 5**). Die ATD-Funk-



Bild 5 Optische Temperaturmessung am Gießautomaten

tion erkennt automatisch den Beginn des Gießvorganges und passt die Messzeit dynamisch an die Gießdauer an. Pro Werkstück wird ein Messwert ermittelt. Damit ist eine lückenlose Kontrolle und Dokumentation der Temperatur aller gegossenen Teile sichergestellt. Erreicht die Temperatur bei einer Gießpfanne z.B. durch eine Störung in der Anlage frühzeitig die minimale Grenztemperatur, kann die Produktion weiterer Teile gestoppt werden. So lassen sich unnötige Kosten durch die Produktion von Ausschussteilen vermeiden.

Besonderheit bei der Messung am Gießautomaten

Bei der Messung am Gießautomaten kommt erschwerend hinzu, dass sich die Position des Gießstrahls abhängig vom Auslauf beim Stopfenguss oder vom Kippwinkel der Pfanne (**Bild 6**) ändern kann. Daher wird an dieser Messstelle ein spezielles Pyrometer mit einem rechteckigen Messfeld eingesetzt. Der Gießstrahl darf sich während der Messung innerhalb des Feldes frei bewegen. Abhängig vom Messabstand sowie dem

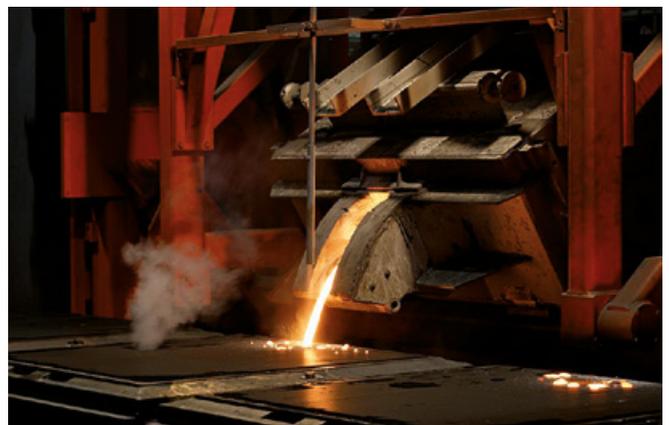


Bild 6 Je nach Kippwinkel der Pfanne ändert sich die Position des Gießstrahls

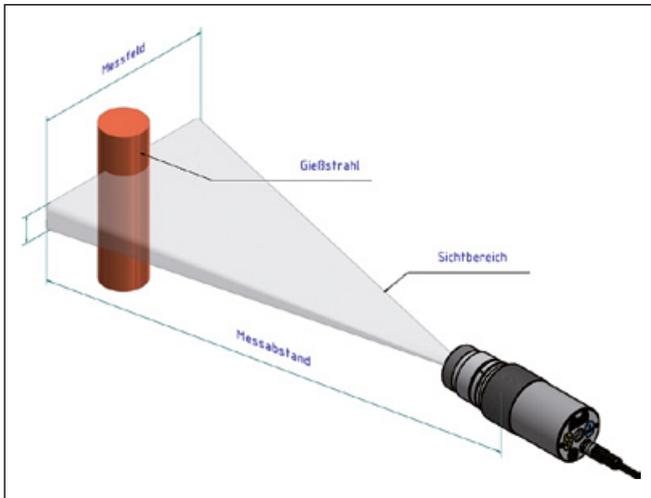


Bild 7 Pyrometer mit rechteckigem Messfeld

Durchmesser und dem Schwankungsbereich des Gießstrahls ist das passende Gerät mit entsprechender Optik auszuwählen. Der Messwert jedes produzierten Teiles wird über eine analoge oder digitale Schnittstelle übertragen und gespeichert.

Integrierte Videokamera zur Überwachung des Messfeldes

Am Gießautomat ist eine optische Kontrollmöglichkeit der Position des Messfeldes erforderlich, da abhängig vom Kippwinkel oder durch ein Zusetzen oder Verschleiß des Gießsteins sich die Position des Gießstrahls ungewollt ändern kann. Aufgrund der oft schwierigen Zugänglichkeit der Montagestelle im laufenden Betrieb, eignet sich hier idealerweise als Visiereinrichtung eine integrierte Videokamera. Kameras der neuesten Generation besitzen eine sogenannte TBC (Target Brightness Control) Funktion. Die Belichtung des Bildes wird nicht wie sonst üblich als Mittelwert des gesamten Bildes, sondern gezielt an der Position des Messfeldes ermittelt. Damit wird eine Übersteuerung des hellen Gießstrahls vor dunklem Hintergrund vermieden. Der Gießstrahl ist auf dem Monitor stets in optimaler Helligkeit sichtbar. Bei modernen Pyrometern wird über das Videosignal auch direkt der Messwert übertragen und im Bild



Bild 8 Videobild mit Messfeldmarkierung und eingblendeter Temperaturanzeige

eingebildet (**Bild 7** und **Bild 8**). Damit entfällt die zusätzliche Leitung und Elektronik zur Fernanzeige der Temperatur.

Fazit

Neueste optisch messende Systeme bieten die Möglichkeit, die Temperatur von flüssigem Metall an den verschiedenen Produktionsanlagen automatisch und kontinuierlich zu überwachen und zu dokumentieren. Da Pyrometer wartungsfrei arbeiten und keine Verschleißteile besitzen, lassen sich zudem die hohen Verbrauchskosten für die Messsonden einsparen.



Autor

Dipl.-Ing. Albert Book
 KELLER HCW GmbH · Germany
 Infrared Thermometer Solutions
 Tel. +49 54 51 85 320
 albert.book@keller-msr.de
 www.keller-msr.de/pyrometer