

# Оптический метод измерения температуры жидких металлов

Альберт Боок

Температура при производстве изделий из жидких металлов - один из наиболее важных физических факторов, влияющих на качество, прочность и характеристики технологической обработки. Благодаря современным инфракрасным термометрам стало возможным непрерывно контролировать бесконтактным способом температуру жидкого металла на различных этапах производства. Кроме того, сокращаются огромные затраты за счет уменьшения использования измерительных зондов и минимизации производства брака.

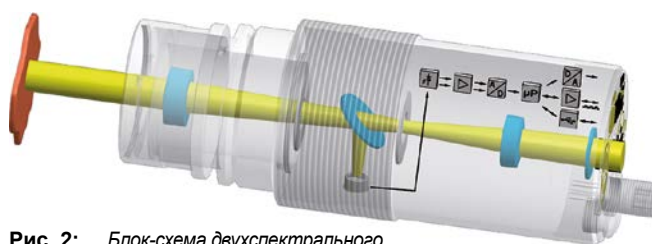


**Рис. 1:** Традиционный метод измерения температуры жидкого металла с помощью погружного зонда

## Недостатки предыдущих методов измерения температуры

Обычно температура жидкого металла определяется с помощью термопар (**рис. 1**). С этой целью зонд погружают в расплав. Точность измерения зависит от оператора, т.е. от позиции измерения и глубины погружения. Застывание шлака на зонде могут также привести к значительным погрешностям измерения. В конечном счете возникают значительные расходы в результате износа зондов. Затраты, таким образом, могут достигать нескольких тысяч евро в год.

Во избежание этих недостатков уже давно были предприняты попытки измерения температуры с помощью оптических средств, посредством так называемых инфракрасных термометров или пирометров. В течение многих лет измерения в инфракрасном спектре с большим успехом применяются во многих отраслях сталелитейной, металлообрабатывающей, керамической, стекольной, цементной и других отраслей промышленности.



**Рис. 2:** Блок-схема двухспектрального пирометра со сквозным видоискателем

## Принцип пирометрического измерения температуры

Основы этого метода были заложены Максом Планком в начале прошлого века. При подобном измерении температуры сенсор улавливает инфракрасное или тепловое излучение, испускаемое от поверхности измеряемого объекта (**рис. 2**). Интенсивность излучения зависит от температуры, а также от индивидуальной степени излучения поверхности тела, так называемого коэффициента излучения. После усиления и линейаризации появляется выходной

сигнал, пропорциональный температуре. Линза пирометра обеспечивает поступление излучения только от определенного поля измерения. Фокусное расстояние объектива и геометрия оптических компонентов определяют форму поля измерения и его размер в зависимости от расстояния.

## Оптический метод измерения температуры металлов

Особенностью оптического метода измерения температуры жидкого металла является очень быстрое образование оксида и шлака на поверхности металлов. По сравнению с чистыми металлами интенсивность излучения, поступающего при той же температуре от шлаков и оксидов, существенно выше. Поэтому для выполнения точных измерений крайне важно, чтобы пирометр измерял излучение, исходящее только от свободной от загрязнения поверхности, что и было достигнуто за счет использования современных двухспектральных пирометров, обладающих специальной функцией АРТ (Автоматическая Регистрация Температуры).

Новейшие двухспектральные пирометры регистрируют инфракрасное излучение одновременно и на одном и том же месте, при наличии двух различных волн. Из соотношения двух значений интенсивности образуется сигнал, пропорциональный температуре. На основе обработки соответствующих значений интенсивности излучения отфильтровывается температура металла без влияния шлака или оксида. Кроме того, двухспектральные пирометры по сравнению с односпектральными, менее чувствительно реагируют на появление в поле зрения таких помех, как пыль, дым или пар, что преимущественно в сложных промышленных условиях.

## Системы измерений для различных позиций измерений

В зависимости от области применения на стальных или сталелитейных заводах к системам измерения температуры жидких металлов предъявляются различные требования.

### а) Измерения в доменных печах и вагранках

Определение температуры в желобах доменной печи или вагранках, при традиционном методе измерения с помощью зондов выполняется спорадически. Преимущество пирометров заключается в том, что они измеряют температуру постоянно (рис. 3). Поэтому, в случае необходимости, можно непосредственно воздействовать на процесс выплавки. По причине местных условий пирометр приходится часто устанавливать на большом расстоянии. Для этого необходимы высокое оптическое разрешение и качественное фор-



Рис. 3: Измерение в выпускном желобе доменной печи на большом расстоянии

мирование изображения. Чем меньше поле измерения, тем надежнее обнаружение точек, свободных от шлаков и оксидов.

Для правильной фокусировки и для контроля величины поля измерения при наводке на объект пирометры оснащены сквозным видеоискателем или лазерным целеуказателем. В качестве дополнительной альтернативы используются пирометры с интегрированной цветной видеокамерой, что позволяет контролировать точку измерения на мониторе в любое время.

### б) Измерения в плавильных печах и термостатах

Большое значение имеет температура расплава при переливании из плавильных печей или термостатов в транспортировочные или литейные (разливочные) ковши (рис. 4).



Рис. 4: Переливка металла из печи в ковш

В зависимости от температуры и времени транспортировки до литейной установки разливка расплава должна быть произведена в течение определённого времени. В противном случае при охлаждении ок. 10 °С в минуту существует опасность падения температуры литья ниже минимально допустимой.

При выполнении измерений в плавильных печах и термостатах, где объект измерения, как правило, находится на значительном расстоянии, также используются пирометры с круглым полем измерения и высоким оптическим разрешением.

Функция АРТ предназначена не только для фильтрации «чистой» поверхности (свободной от оксидов и шлаков), но и дополнительно служит для автоматического обнаружения начала и конца переливания. После переливки на дисплее появляется результат измерения, который передается в систему сбора данных.

В качестве альтернативы для протоколирования, графического изображения на компьютерном экране и автоматического сохранения измеренных значений с указанием соответствующего штемпера времени может быть использовано автономное программное обеспечение CellaMevis. Оба взаимозависимых значения (температура / штемпель времени) можно через определённый период времени сохранять на жестком диске и в автоматическом режиме.

### с) Измерения в разливочных автоматах

Температура, при которой жидкий металл заливают в форму, в значительной степени определяет конечное качество отливки. Если расплав слишком горячий, существует риск повреждения песчаных стержней. При слишком низкой температуре плавления металл становится вязким. Особенно у сложных и тонкостенных отливок равномерное распределение внутри формы не будет гарантировано. Существует опасность образования раковин и, таким образом, производства непровара. Кроме того, температура разливки оказывает влияние на последующую механическую прочность и свойства при обработке заготовок. Поэтому в этих местах особенно важно как можно точнее измерять и выдерживать температуру.

В разливочных автоматах температура измеряется лишь sporadически с помощью погружного зонда в желобе. В полуавтоматических разливочных автоматах температура расплава, как правило, контролируется только один раз при заполнении в разливочный ковш. Измерение выполняется внутри ковша и, следовательно, ещё до заполнения первой заготовки. Таким образом, в зависимости от количества подлежащих разливке форм возникает несоответствие во времени (смещение) между измерением и отливкой.

Оператор определяет время охлаждения расплава и количество заготовок, получаемых из одного ковша, опираясь на свойства те-



Рис. 5: Оптический метод измерения температуры на разливочных автоматах

кучести и основываясь лишь на эмпирических знаниях. Метрологическая экспертиза, контролирующая факт, действительно ли выдерживается минимально допустимая температура, особенно у последних подлежащих разливке форм, не имеет места.

Оптический метод измерения температуры при разливке позволяет направлять пирометр непосредственно на свободно падающую струю жидкого металла (рис. 5). Автоматическая функция регистрации температуры позволяет регистрировать начало процесса литья и подбирать правильное время измерения разливки жидкого металла.

Для каждой заготовки рассчитывается одно измеренное значение. Таким образом обеспечивается непрерывный контроль и документирование температуры всех литых деталей.

Если температура в ковше, например, по причине неисправности оборудования, преждевременно достигает минимального предела, дальнейшее производство деталей во избежание ненужных затрат за счет производства дефектных деталей может быть приостановлено.



Рис. 6: в зависимости от угла наклона ковша изменяется позиция струи жидкого металла

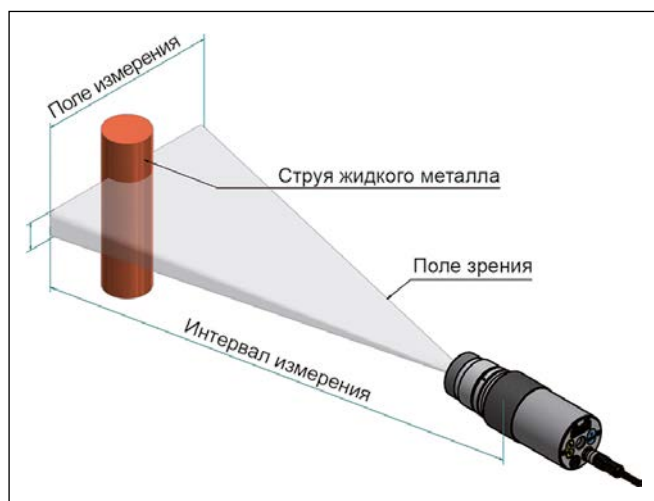


Рис. 7: Пирометр с прямоугольным полем измерения



Рис. 8: Видеоизображение с маркировкой поля измерения и отображением температуры

## Специфические особенности измерений в разливочных автоматах

Процесс измерения температуры в разливочных автоматах усложнён также ещё и тем, что позиция струи жидкого металла может изменяться в зависимости от размера разгрузочного отверстия или от угла наклона ковша (рис. 6).

Таким образом, для данной позиции используют специальный пирометр с прямоугольным полем измерений. Струя металла во время разливки всё время остаётся в поле зрения прибора (рис. 7).

В зависимости от расстояния измерения, диаметра и диапазона колебания струи металла следует выбирать пирометр с соответствующей оптикой. Измеренное значение температуры каждой полученной детали передается и сохраняется с помощью аналогового или цифрового интерфейса.

## Интегрированная видеочамера для контроля поля измерения

У разливочных автоматов необходимо визуально проверять положение поля измерений, поскольку в зависимости от угла наклона или степени износа разливочного отверстия позиция струи жидкого металла может произвольно изменяться. В связи с тем, что в процессе производства место монтажа пирометра часто является труднодоступным, для визирования пирометра в таком случае идеально подходит встроенная видеочамера.

Последнее поколение камер имеют так называемую функцию регулирования экспозиции. Засветка изображения рассчитывается

не как обычно, в качестве среднего значения всего изображения, а целенаправленно только в точке измерения, что, в свою очередь позволяет избежать переэкспозицию струи жидкого металла на тёмном фоне и обеспечивает постоянную оптимальную яркость струи на мониторе.

У современных пирометров вместе с видеосигналом передается также измеренное значение, которое отображается на мониторе (рис. 8), поэтому нет необходимости в дополнительном подключении к отдельному компьютеру для дистанционной индикации температуры.

## Резюме

Новейшие оптические измерительные системы обеспечивают непрерывный контроль и сохранение в памяти температуры жидкого металла при различных производственных процессах в автоматическом режиме. Пирометры не требуют технического обслуживания и не имеют изнашиваемых деталей, что позволяет значительно сократить брак и затраты, возникающие из-за необходимости применять измерительные зонды.



### Автор:

Дипл. инж. Альберт Бук  
KELLER HCW GmbH  
Infrared Temperature Solutions (ITS)  
тел.: +49 5451 85320  
albert.book@keller.de  
www.keller.de/its