

**Наконечная А. В., Муравьёв А. В.**

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Украина*

## **Автоматизированные системы пирометрического контроля на литейно-прокатном производстве**

Системы индукционного нагрева широко используются в современной кузнечной промышленности для горячей ковки. Перед ковкой сталь нагревают до температуры от 1000 °C до 1250 °C. Необходимые тепловые режимы процесса зависят от содержания углерода и конкретных легирующих элементов в стали. Технология горячей ковки требует равномерного распределения тепла по ширине и длине заготовки. Как правило, заготовку нагревают до температуры выше температуры ее перекристаллизации.

Существуют различные способы нагрева металла: индукционные, газовые и мазутные печи, инфракрасное излучение и электрическое сопротивление. Индукционный нагрев имеет явные преимущества: быстродействие, равномерное распределение тепла и точную регулировку температуры. Для автоматизации контроля температуры в индукционных системах нагрева перспективным на сегодняшний день является использование пирометров.

Пирометры измеряют температуру без непосредственного контакта с объектом контроля и не имеют подвижных быстроизнашивающихся деталей. На основе закона излучения Планка пирометр фиксирует инфракрасное излучение от поверхности и преобразует его в значение температуры. В течение долей секунды и с безопасного расстояния пирометр определяет температуру заготовки в момент выхода из индуктора. Данные о температуре объекта могут быть использованы в задачах интеллектуального автоматизированного неразрушающего контроля [1].

Пирометры можно разделить на одноцветные и двухцветные. Одноцветные приборы регистрируют инфракрасное излучение в одном спектральном диапазоне длин волн. Принцип работы двухцветных пирометров основан на определении соотношения интенсивностей потоков излучения как

минимум в двух различных диапазонах спектра (рис.1). Исходя из этого принципиального различия, последний тип пирометров часто называют мультиспектральными или пирометрами спектрального отношения.

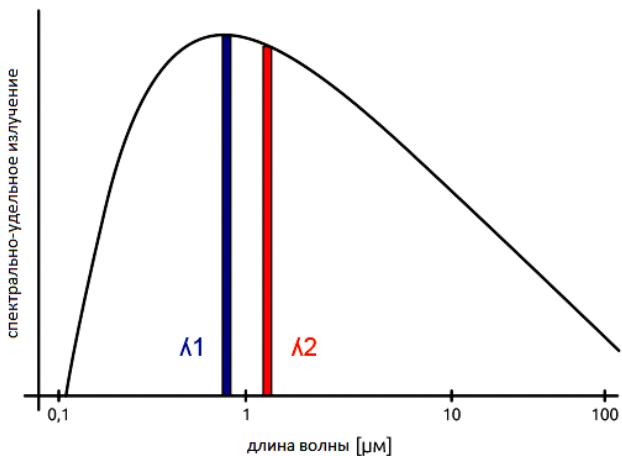


Рис. 1. Регистрация излучения двухцветными пирометрами

Оба вида пирометров используются в задачах неразрушающего контроля при индукционных процессах нагрева изделий. Оптимальный выбор прибора будет зависеть от ряда факторов: требуемой точности, желаемой универсальности устройства, простоты эксплуатации и цены приобретения.

Целью данной работы является анализ методов пирометрии, которые могут быть применены в автоматизированных системах контроля технологических процессов литейно-прокатного производства.

Когда частицы и помехи в виде пыли, дыма, пара в зоне видимости ослабляют сигнал на каждой из двух длин волн в равной степени, соотношение интенсивностей в каналах двухцветного пирометра остается постоянным. Двухцветный пирометр продолжает выдавать точные и надежные данные о температуре поверхности объектов даже при ослаблении оптического сигнала на 90% [2]. В случае одноцветных пирометров угасание потока излучения от объекта контроля немедленно приведет к снижению точности измерения.

Помехи в зоне прямой видимости, а также пыль и грязь на поверхности фокусирующей линзы уменьшат количество инфракрасной энергии, поступающей к датчику. Новейшие двухцветные пирометры оснащены устройством слежения за уровнем интенсивности сигнала, функцией, которая

оповещает пользователя при превышении настроенного допустимого порога ослабления полезного сигнала. Опция обеспечивает надежность и достоверность результатов измерений. В систематическом мониторинге степени загрязнения оптической системы также исчезает необходимость, поскольку устройство автоматически определяет, когда поверхность линзы чрезмерно грязная. Реализовать подобную функцию для одноцветных пирометров технически невозможно.

При использовании одноцветных пирометров контролируемая поверхность объекта, должен быть не меньше, чем целевое пятно пирометра. Одноволновом метод определяет температуру на основе среднеинтегрального показателя всего инфракрасного излучения, захваченного внутри пятна. Когда объект контроля не полностью заполняет пятно, датчик также принимает излучение, исходящее от фоновых объектов. Если фон холоднее, чем объект, показатели температуры будут занижены. Этого недостатка лишены двухцветные пирометры: если целевой объект не заполнит пятно сканирования, ослабление сигнала не повлияет на показатели температуры. Двухцветный метод будет показывать достоверные значения температуры, даже если размер контролируемого объекта на 80% меньше, чем целевое пятно [3].

В идеальном случае фактическое положение объекта по отношению к центру целевого пятна не должно иметь никакого значения. Единственным ограничением является попадание контролируемой поверхности в поле зрения устройства. Однако имеющиеся на рынке пирометры существенно различаются по качеству работы. Если поверхность контроля будет расположена ближе к периферии поля зрения пирометра, это окажет влияние на результат измерения. Например, приборы с упрощенной оптикой, отсутствием функционала коррекции ошибок и дешевыми датчиками могут показывать в подобных случаях искаженные на 20-30 °С значения температуры, в то время как фактическая температура контролируемого объекта остается постоянной.

Недавно на рынке появились пирометры с прямоугольной областью измерения температуры поверхности, что значительно упростило наведение

устройства на объект контроля, поскольку диапазон пространства, в котором объект может перемещаться, существенно расширился (рис. 2).

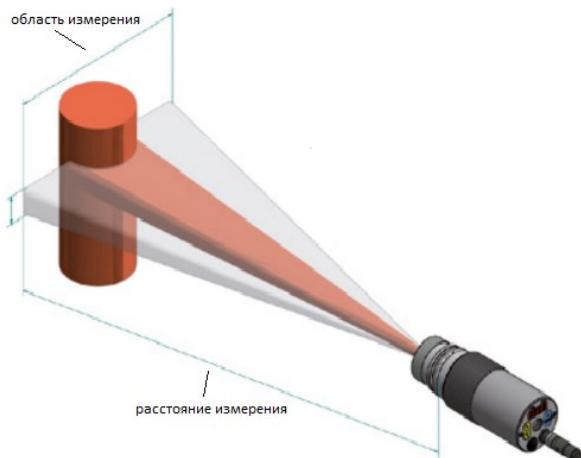


Рис. 2. Пирометр с прямоугольной областью контроля поверхности

Еще одним отличием между вышеописанными принципами работы пирометров является степень влияния размера и расстояния до объекта контроля на результат температурного измерения. При работе устройства в одном диапазоне длин волн для получения точных результатов расстояние до контролируемой поверхности должно быть строго выдержано в соответствии с её размером. Индукционные системы нагрева часто используют одноцветные пирометры с оптикой фиксированного фокуса. При выборе положения установки такого устройства следует строго соблюдать необходимое расстояние до объекта контроля. Степень, в которой неправильная фокусировка приведет к ошибке измерения, зависит как от размера объекта, так и от качества оптической системы прибора. Если область измерения пирометра лишь немного больше целевого объекта, это может привести к существенной погрешности измерения, особенно в случае использования одноцветного метода контроля. Диаграмма, показанная на рис. 3, демонстрирует, как показания температуры пирометра изменяются в зависимости от диаметра контролируемой поверхности. Если, например, диаметр объекта увеличится вдвое с 16 мм до 32 мм, пирометр с высококачественной оптикой отобразит повышение температуры всего на 1 °C, в то время как прибор с упрощенной оптикой покажет повышение температуры на 6 °C. Предполагая, что

фактическая температура заготовки составляет 1000 °С, и, исходя из диаметра поверхности 16 мм, более совершенное устройство будет иметь ошибку измерения 1,2 °С, тогда как показания температуры упрощенного прибора будут отклоняться на 10 °С. При использовании двухцветных пирометров ошибки, вызванные такими факторами, как изменение расстояния или размера контролируемой поверхности, а также неправильной фокусировкой, будут незначительными [4].

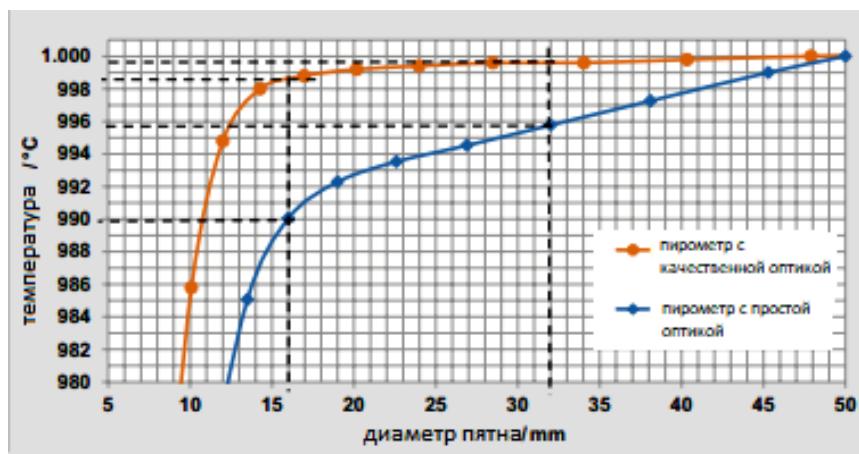


Рис. 3. Влияние размера целевого объекта на показания температуры

Индукционные системы нагрева обычно оснащены устройством для измерения температуры. Автоматизация такой системы управления процессом обеспечивает стабильность параметров производимых изделий: заготовки, которые не достигли температуры ковки или были перегреты, автоматически попадают в брак. Точный автоматизированный контроль температуры чрезвычайно важен для достижения максимально возможной эффективности при индукционном нагреве заготовок. В процессе модернизации своего оборудования кузнечные компании часто приобретают прибор для измерения температуры как отдельное самостоятельное устройство. При таком применении рационально использовать интеллектуальный цифровой блок отображения для повышения скорости обработки сигналов пирометра с целью автоматического формирования точных данных о температуре заготовки.

Одноцветные пирометры дают хорошие результаты, когда такие производственные параметры, как размер цели, фокусное расстояние, свойства материала и поверхности остаются неизменными. Однако для получения максимальной точности данных и простоты фокусировки целесообразно применять приборы, работающие на двухцветном принципе. Такие пирометры можно применять в загрязненных местах, так как наличие посторонних компонентов (пара, пыли, дыма и других) на качество их работы не влияет.

### **Литература:**

1. Momot A. S. The Use of Backpropagation Artificial Neural Networks in Thermal Tomography / A. S. Momot, R.M. Galagan. // proc. 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC) Kiev, 8-12 October 2018 / IEEE. – 2018. – pp. 1–6.
2. Живкович, А. В. Современные технологии бесконтактного измерения температуры / А. В. Живкович, А. В. Муравьёв // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Динамика научных исследований - 2020», 07-15 июля 2020, Пшемысьль, Польша. – Przemyśl : Nauka i studia, 2020. – Vol. 7. – С. 110-115.
3. Муравьёв А. В. Пассивная термостабилизация оптической системы тепловизора и перспективы его применения в медицинской диагностике / А. В. Муравьёв // Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции. – Минск, Белоруссия, 2017. – С. 385-387.
4. Ibarra-Castanedo C., Genest M., Piau J.M., Guibert S., Bendada A., Maldague X.P., Chen C. Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization. In: Chen C.H., editor. Active Infrared Thermography Techniques for the Non-Destructive Testing of Materials. World Scientific; Singapore, Singapore: 2007. – pp. 325–348.