

## ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 681.516.73

Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов Т.У., Ахметова А.У.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СПОСОБА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ НАГРЕВАЕМЫХ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ПЕРЕД ВЫДАЧЕЙ

Разработана система программно-инструментального контроля текущего температурного состояния нагреваемых заготовок перед выдачей из печи. Проведено актуальное исследование по определению достаточной точности, объективности и работоспособности разработанной системы. Показаны возможности системы в условиях промышленной печи.

**Ключевые слова:** качество нагрева, оптимальное управление, энергосберегающий режим, интенсификация нагрева, температура раската, недогретая заготовка, тепловой режим, перепад температур, оптический пирометр.

Соблюдение общей стратегии оптимального энергосберегающего управления нагревом непрерывнолитых крупногабаритных заготовок из труднодеформируемых судовых и трубных марок стали путем интенсификации нагрева на заключительном интервале времени увеличивает вероятность выдачи на стан недогретой заготовки и последующих негативных последствий.

Поэтому для обеспечения гарантированного качества нагрева особенно актуальной становится проблема обеспечения автономного объективного контроля текущего теплового состояния каждой заготовки перед выдачей из печи.

Для практических целей достаточно определение двух параметров, характеризующих температурное тепловое состояние нагреваемой заготовки: температуры поверхности нагреваемого металла и температурного перепада между поверхностью и центром нагреваемой заготовки.

Если температуру поверхности металла (вернее, поверхностного слоя окалины) можно измерить при использовании современных оптических пирометров, то перепад температур недоступен для прямого контроля без использования специального индивидуального метода [1].

В производственных условиях при неравномерной производительности стана (от 200 до 1000 т/ч), взаимном влиянии отапливаемых зон, при одновременном нагреве заготовок, различающихся по теплофизическим свойствам и начальному тепловому состоянию (посад заготовок с температурой больше 500°C изменяется от 40 до 85% в сутки), только математическое моделирование процесса нагрева массивных слябовых заготовок не решает проблему достоверной оценки реального качества нагрева.

Температура полосы после прокатки заготовки в черновой группе стана (температура раската) является основным контролируемым параметром оценки качества нагрева металла, но после выдачи заготовки из печи, когда ошибка нагрева уже не может быть исправлена.

Поэтому вызывает интерес определение и реализация таких зависимостей, которые связали бы температурные параметры нагрева, доступные для измерения, с величинами и характеризующими распределение температуры по сечению нагреваемой заготовки.

Возможность реализации таких зависимостей бы-

ла рассмотрена в работе [2]. Где получено уравнение, позволяющее с использованием текущих значений температуры рабочего пространства или греющей среды  $t_{ГС}(\tau)$  и температуры поверхности нагреваемой заготовки  $t_{ПОВ}(\tau)$  при условии стабилизации  $t_{ПОВ}(\tau) = \text{const}$  осуществить контроль температурного перепада по сечению нагреваемой заготовки  $\Delta t = t_{ПОВ}(\tau) - t_{Ц}(\tau)$ . Здесь  $t_{Ц}(\tau)$  – температура центра нагреваемой заготовки.

Появление достаточно точных оптических пирометров и использование современных программируемых средств позволяет эффективно решить поставленную задачу.

Структурная схема автономного программно-инструментального контроля качества нагрева металла перед выдачей из печи, реализованная на методической печи №6 стана 2500 ОАО «ММК», представлена на рис. 1.

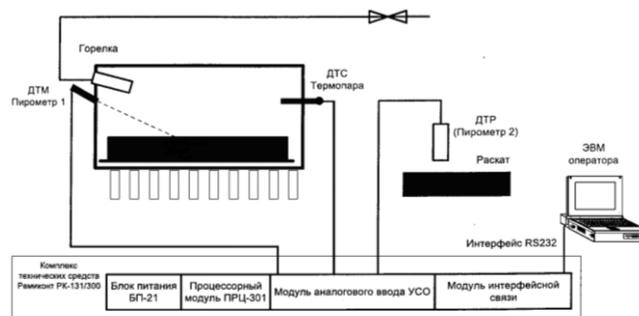


Рис. 1. Структурная схема системы контроля качества нагрева металла

Система реализована на отечественном регулирующем контроллере РК-131. Датчиком температуры греющей среды является термопара ТПР, установленная в боковой стене печи на 300-350 мм выше уровня нагреваемых непрерывнолитых заготовок толщиной 250 мм. Датчиком температуры поверхности металла ДТМ служит пирометр полного излучения ТЕРА-50, свизированный на поверхность нагреваемой заготовки в месте установки термопары через трубу с отдувом, установленную в боковой стене печи томильной зоны. Температура раската ДТР измеряется пирометром частичного излучения.

Выполняющий функции устройства связи с объектом (УСО) микропроцессорный регулирующий кон-

троллер связан по сети «Транзит» с УВМ, осуществляющей все необходимые расчеты, контроль и визуализацию параметров нагрева по всей печи.

Особенностью работы пятизонной толкательного типа, отапливаемой природным газом через торцевые горелки методической печи №6 стана 2500 ОАО «ММК» является двусторонний нагрев непрерывнолитых заготовок толщиной 250 мм практически холодного посада при активной длине рабочего пространства 29 м и максимальном удалении от прокатного стана.

Технологический режим работы стана характеризуется значительной неравномерностью от 12 до 54 заготовок в час (от 180 до 750 т/ч)

Для оценки точности, объективности и работоспособности разработанной системы программно-инструментального контроля текущего температурного состояния нагреваемых заготовок перед выдачей из печи было проведено специальное исследование.

В процессе исследования фиксировались во времени следующие технологические параметры: температура рабочего пространства печи (греющей среды)  $t_{ГС}(\tau)$ ; расход газа в томильную зону  $V_T(\tau)$ ; расход воздуха в томильную зону  $V_B(\tau)$ ; соотношение расходов  $V_B(\tau)/V_T(\tau)$ ; температура поверхности нагреваемого металла  $t_{ПОВ}(\tau)$ ; продолжительность периода времени между выдачей очередных заготовок из печи; прогнозируемая температура раската выданной из печи заготовки  $t_{РАСЧ}(\tau)$ ; температура измеренной (фактической) температуры раската  $t_{ИЗМ}(\tau)$ .

Управление тепловым режимом в томильной зоне осуществлялось по  $t_{ПОВ}(\tau) = t_{ПОВ}^3(\tau)$ , где  $t_{ПОВ}^3(\tau)$  - заданное значение температуры поверхности. Измерение  $t_{ГС}(\tau)$  осуществлялось термопарой без защитного карборундового стакана для снижения инерционности информационности канала.

Наличие опорных (глиссажных) труб в печи толкательного типа определяет неравномерность температуры раската по длине полосы. Поэтому за действительное измеренное  $t_{ИЗМ}(\tau)$  значение температуры раската принималось среднее значение температуры по длине полосы во время её перемещения перед датчиком температуры с дискретностью 1 с. Это полученное значение  $t_{ИЗМ}(\tau)$  использовано в качестве объективного показателя качества нагрева заготовки.

Распределение отклонений прогнозируемой (расчетной) температуры раската от измеренной для 858 заготовок, нагретых в течение шести суток в методической печи №6 стана 2500 ОАО «ММК», представлено на **рис. 2** для условий неконтролируемой выдачи заготовок из печей стана.

Из 858 заготовок 473 (55,13%) имели отклонение в диапазоне  $\pm 15^\circ\text{C}$ , а 762 (88,8%) имели отклонение  $\Delta t = t_{ИЗМ}(\tau) - t_{РАСЧ}(\tau)$  в диапазоне  $\pm 30^\circ\text{C}$ .

Анализ увеличения отклонений выявил следующие причины:

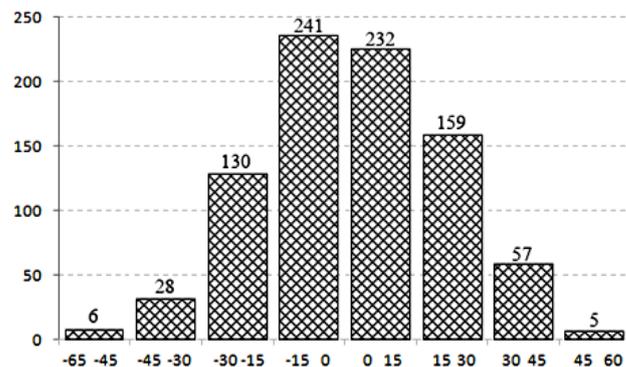
– неточность упрощенного статистического выражения, используемого при определении  $t_{РАСЧ}(\tau)$  с учетом транспортировки (более 60 м) по подающему рольган-

гу;

– нарушение условий определения  $t_{РАСЧ}(\tau)$  при переводе управления тепловым режимом в томильной зоне на ручное управление или другие причины нарушения условия  $t_{ПОВ}(\tau) = \text{const}$ ;

– погрешности измерения  $t_{ПОВ}(\tau)$  пирометром полного излучения, на показание которого оказывает влияние излучение продуктов сгорания в зависимости от расхода газа при изменении производительности печи;

– нарушение порядка выдачи заготовок по печам при отсутствии системы информационного сопровождения и несвоевременной коррекции порядка выдачи.



**Рис. 2. Распределение отклонений расчетного прогнозируемого значения температуры раскатов от измеренного (действительного) для всех нагретых в течение шести суток в печи №6 заготовок по данным системы централизованного контроля печи №6 стана 2500 ОАО «ММК»**

Наиболее значимым явился третий фактор, когда даже при выполнении условия  $t_{ПОВ}(\tau) = \text{const}$  на величину отклонения  $\Delta t(\tau)$  заметное влияние оказывает изменение расхода топлива в зону.

В результате определения статических характеристик, определяющих зависимость температуры греющей среды  $t_{ГС}(\tau)$  в функции от расхода топлива в томильную зону для различных значений интервалов времени между выдачей из печи очередных заготовок (производительности печи), удалось рассчитать величины корректирующих поправок на величину  $\Delta t(\tau)$  в зависимости от текущего расхода топлива в томильную зону.

Величина корректирующей поправки  $\Delta t_{КОР}(\tau)$  в зависимости от текущего расхода топлива, вызванного изменением производительности печи, в диапазоне  $950-1060 \text{ м}^3/\text{ч}$  изменяется нелинейно от 0 до  $12^\circ\text{C}$  при изменении расхода газа от 1000 до  $950 \text{ м}^3/\text{ч}$ , от 0 до  $+18^\circ\text{C}$  при изменении расхода от 1000 до  $1060 \text{ м}^3/\text{ч}$  [3].

Изменение во времени параметров теплового режима в томильной зоне печи №6 представлено на **рис. 3**, в условиях контролируемой выдачи заготовок.

Анализ полученного частотного распределения значений отклонения  $\Delta t = t_{ИЗМ}(\tau) - t_{РАСЧ}(\tau)$  с учетом коррекции  $t_{ГС}(\tau)$  при контролируемой выдаче 77 заготовок из печи №6 показал, что 67,5% имеет отклонение в диапазоне  $\pm 10^\circ\text{C}$ , а 88,3% или 68 заготовок в диапазоне  $\pm 20^\circ\text{C}$  при среднеквадратичном отклонении  $\Delta t(\tau) \pm 11,4^\circ\text{C}$ .

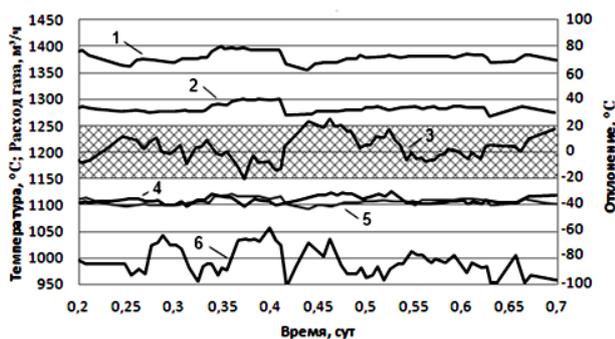


Рис. 3. Изменение во времени параметров теплового режима в пятой зоне печи №6: 1 –  $t_{гс}(\tau)$ ; 2 –  $t_{нов}(\tau)$ ; 3 –  $\Delta t = t_{изм}(\tau) - t_{расч}(\tau)$ ; 4 –  $t_{изм}(\tau)$ ; 5 –  $t_{расч}(\tau)$ ; 6 –  $V_T(\tau)$  при коррекции прогнозируемого расчетного значения  $t_{расч}(\tau)$

Использование рассмотренного метода гаранти

рует невозможность несанкционированной и неконтролируемой выдачи на стан недогретой заготовки при реализации энергосберегающего оптимального управления режимом нагрева крупногабаритных труднодеформируемых непрерывнолитых заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бельский А.М., Дубинский М.Ю. и др. Устройство для измерения температуры нагрева объектов в металлургических печах: патент РФ на полезную модель №72061 БН. 2008. №9.
2. Парсункин Б.Н., Панферов В.И. Контроль прогрева металла // Изв. вузов Черная металлургия. 1981. №10. С. 127-129.
3. Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Оптимизация режима управления нагревом заготовок в печах проходного типа. Магнитогорск: Из-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова. 2013. 376 с.

INFORMATION IN ENGLISH

ACCURACY INVESTIGATION OF TEMPERATURE CONTROL METHOD FOR HEATED CONTINUOUSLY CAST BILLETS BEFORE DISCHARGE

Parsunkin B.N., Andreev S.M., Akhmetov T.U., Akhmetova A.U.

The system of software and tool control of billet temperature prior to discharge from the furnace was developed. The research group conducted the study to determine the reasonable accuracy, objectivity and efficiency of the developed system. The possibilities of the system under conditions of an industrial furnace were shown.

**Keywords:** quality of heating, optimal control, energy saving mode, intensification of heating temperature of the process section, underheated billet, thermal conditions, temperature difference, optical pyrometer.

REFERENCES

1. Belenkiy A.M., Dubinskiy M.Yu. et al. *Ustroistvo dlya izmereniya temperatury nagreva obyektov v metallurgicheskikh pechah* [Temperature measuring device for objects heated in metallurgical furnaces]. RF useful model patent No.72061 БН. 2008. No.9.
2. Parsunkin B.N., Panferov V.N. *Kontrol progreva metalla* [Metal preheating control]. Proceedings of Universities Ferrous Metallurgy, 1981, no.10, pp. 127-129.
3. Andreev S.M., Parsunkin B.N. *Optimizatsiya rezhima upravleniya nagrevom zagotovok v pechah prohodnogo tipa* [Control mode enhancement of billet heating in through-type furnaces]. Magnitogorsk: Publishing house of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013, 376 p.

УДК 621.3.02:669.187.28

Агапитов Е.Б., Тихонов А.В.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОГО ТОКОПОДВОДА ПРИ НАГРЕВЕ ШЛАКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА

В статье приведены результаты экспериментального исследования и обоснование применения нагрева шлакометаллического расплава путем электрического нагрева сопротивлением слоя шлака при плазменно-дуговом токоподводе.

**Ключевые слова:** плазменно-дуговой токоподвод, внепечная обработка, шлак, плазма, сопротивление шлака, скорость плавления, нагрев.

Бурный интерес к низкотемпературной плазме и применению стабилизированных газом струй в отечественной металлургии 70-80-х гг. XX в. снизился в связи со спецификой развития отечественной металлургии, которая в качестве основного направления развития выбрала наращивание производственных мощностей. Попытка заменить электродуговым нагрев и переplав в традиционной электрометаллургии на плазменный постепенно (за исключением дорогостоящей спецэлектрометаллургии) зашла в тупик из-за отсутствия аналогичных по мощности плазмотронов,

дороговизны источников питания, сложности эксплуатации оборудования. Однако развитие процессов внепечной обработки расплавов стали с конца 1980-х годов заставляет по-новому взглянуть на весь спектр внепечных процессов с точки зрения возможности использования в них высокотемпературных струйных электродуговых устройств.

Наличие в ковше агрегата печь – ковш (АПК) готового расплава, который должен пройти обработку, в частности подогрев на 20–70°C, в сложных технологических и временных условиях создает основы для ис-