

Литература

1. Шитиков А. В., Быковцев Г. И. Конечные деформации упругопластических сред//ДАН. 1990. Т.311. № 1. С. 59-62.
2. Годунов С. К. Элементы механики сплошной среды. М.: Наука, 1978. 304 с.
3. Chrysochoos A. Bilan Energetique en elastoplasticite grand deformation//C.R.Acad. Sci. 1985. ser.2. V.300. N 20. P.985-990.

С. А. Новокрещенов,
А. С. Чуркин,
Н. И. Уляшин

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИНЕРЦИОННЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Прогнозирование переходных процессов в любом металлургическом агрегате с целью его автоматического управления невозможно без оценки и моделирования динамики изменения неконтролируемых возмущений. Однако к настоящему времени характер влияния неконтролируемых возмущений, прогнозирование переходных процессов, вызванных их действием, изучены весьма слабо. Для многих металлургических процессов этот вопрос практически не изучен.

Проведенные нами исследования на доменных печах позволили установить, что характер влияния неконтролируемых возмущений зависит от типа действующих возмущений и способов совершенствования технологии процесса.

Изменение теплового режима нижней зоны доменной печи, а следовательно, и выходных показателей плавки за счет неконтролируемых возмущений связано с процессами газификации углерода кокса в области прямого восстановления оксидов железа и диоксидов кремния. При квазиустановившемся дутьевом режиме и составе комбинированного дутья переходные процессы, связанные с изменением условий равновесия реакции газификации углерода кокса, могут быть вызваны действием неконтролируемых возмущений двух типов: изменением отношения железа к углероду (например, неконтролируемые изменения химического

состава железорудного сырья и кокса, неучтенные ошибки дозирования и др.) и изменениями характера газораспределения, гранулометрического состава шихты, восстановимости железорудного сырья и т.п. Последнее проявляется в изменении степени косвенного восстановления и, как следствие, степени прямого восстановления $\Delta \tau_d$.

Неконтролируемые возмущения первого типа Δq_k и $\Delta \tau_d$ приводят к одновременному качественно и количественно различному изменению выхода оксидов и диоксидов углерода с колошниковым газом ΔV_c^H (м³/мин). Сложный характер переходного процесса изменения данного параметра связан с наличием прямых и обратных связей. Результаты натурно-математического моделирования показали, что наиболее значимая из них (по амплитуде) связана с перераспределением тепла между $\Delta \tau_d$ и изменением содержания кремния в чугуна.

Исследованиями установлено, что изменение условий теплообмена в нижней зоне доменной печи приводит к изменению степени прямого восстановления с запаздыванием $\tau_{ог}$, равным по времени примерно 1,5 оборота шихтовых материалов в зоне печи (7-9 часов). Вследствие этого изменяется количество оксидов углерода ($CO+CO_2$).

Таким образом, изменение выхода оксидов углерода под влиянием эффектов действующих неконтролируемых возмущений является следствием неконтролируемого изменения теплового режима нижней зоны доменной печи. Следовательно, необходимо разделять суммарное изменение состава колошникового газа на детерминированную составляющую (за счет действия принятых контролируемых переменных) ΔV_c^K и стохастическую составляющую (за счет действия эффектов неконтролируемых возмущений) ΔV_c^H .

Однако решить задачу приведения ΔV_c^H к какому-либо из двух типов неконтролируемых возмущений прямым путем не представляется возможным из-за некорректности ее математической постановки (количество неизвестных больше количества уравнений их связывающих). Тем не менее раздельная оценка неконтролируемых изменений $\Delta \tau_d$ и Δq_k показала, что при действии неконтролируемых возмущений типа Δq_k изменение V_c^H составит величину порядка 0,3-0,4 м³/мин на 1 кг С/т чугуна, а при действии возмущений типа $\Delta \tau_d$ - соответственно 1,0-1,2 м³/мин.

Была выдвинута гипотеза о том, что неконтролируемые возмущения,

связанные с изменением степени прямого восстановления, являются основной причиной изменения выхода V_C^H .

Для проверки данной гипотезы провели статистический анализ натурных данных о работе доменной печи № 6 Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) (всего около 420 выпусков чугуна). В результате было установлено, что максимально возможное изменение выхода $CO+CO_2$ за счет действия всех неконтролируемых возмущений составляет 110–120 м³/мин, а максимально возможное изменение содержания кремния в чугуне на выпуске составляет 0,45% (абс.). Если эту величину обратным пересчетом привести к ΔV_C^H , то расчетное значение оказывается немногим меньше – 100 м³/мин.

Низкая чувствительность состава колошникового газа к неконтролируемым возмущениям первого типа подтвердила ранее выдвинутую гипотезу. Следовательно, при прогнозировании изменения теплового режима нижней зоны печи необходимо учитывать неконтролируемые возмущения, обусловленные изменениями степени прямого восстановления.

При описании динамики стохастической составляющей изменения теплового режима нижней зоны печи принята модель, представляющая совокупностью звена первого порядка и звена транспортного запаздывания. Обратная связь, учитывающая перераспределение тепла в области прямого восстановления элементов, используется при корректировке коэффициента передачи.

Моделирование динамики переходных процессов по каналу "неконтролируемые возмущения типа $\Delta T_d^p \rightarrow \Delta V_C^H$ " можно представить безынерционным усилительным звеном, так как неконтролируемые возмущения, приведенные к ΔV_C^H , практически мгновенно отражают изменения теплового режима нижней зоны печи (колошниковый газ проходит рабочее пространство печи за несколько секунд). Следовательно, по изменению состава колошникового газа можно оперативно оценивать действие эффекта неконтролируемых возмущений. Зная динамику переходных процессов изменения теплового режима нижней зоны доменной печи за счет изменения выявленного эффекта неконтролируемых возмущений, можно спрогнозировать параметры тепловых процессов.

В условиях работы доменной печи № 6 НЛМК величина транспортного запаздывания, как показали результаты исследований, равна времени движения шихтовых материалов от условной поверхности начала замет-

ного развития процессов прямого восстановления до уровня воздушных фурм и составляет 1,5-2 ч. Следует отметить, что для каждого конкретного металлургического агрегата необходимо проведение отдельных исследований по определению динамических характеристик стохастической составляющей.

В связи с вышеизложенным актуальной задачей становится повышение достоверности и оперативности получения используемой информации (измерений) о ходе процесса.

Ранее отмечалось, что частота изменений действий неконтролируемых возмущений составляет величину порядка $1,5 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, однако следует отметить, что некоторые флуктуации состава колшникового газа связаны с аномально большими погрешностями измерений, сбоями в работе системы централизованного контроля и т.п. Вот почему при моделировании переходных тепловых процессов необходимо решить вопросы помехозащитности используемых натуральных данных.

Уменьшение влияния нелинейности динамических параметров различных каналов передачи воздействия на результат прогноза выходных параметров процесса также является одной из задач управления. Следует отметить, что чем больше отклонение какого-либо воздействия от базового значения, тем больше проявляются нелинейные статические свойства. Нами предложен метод выделения базовой (квазистационарной) составляющей, заключающийся в корректировке ее во времени с помощью экспоненциального фильтра первого порядка с параметром настройки - коэффициентом сглаживания α . В этом случае базовое значение параметра - величина не постоянная, зафиксированная, а изменяющаяся во времени в зависимости от текущего значения данного параметра. Для инерционных каналов передачи воздействия ($T_{\text{об}}$ - более 4 ч и $T_{\text{г}}$ - 1,5-2 ч) предлагается принимать $\alpha = 0,3 - 0,4$, для менее инерционных - $\alpha = 0,6 - 0,8$. Таким образом, коэффициент передачи каждого канала передачи воздействия постоянно корректируется и адаптируется к уровню нагрузки объекта.

Результаты проведенных исследований показали, что учет влияния действующих неконтролируемых возмущений и применение адаптируемой модели повысили точность прогноза содержания кремния в чугуне до 86%.