

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНЫМ РЕЖИМОМ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПОЛОСЫ

А.Л. Генкин (ИПУ РАН)

Рассматривается возможность использования информации, полученной от измерителей энергосиловых параметров прокатки для косвенного определения температуры металла при горячей прокатке полос. Предложены методы управления температурно-скоростным режимом прокатки в чистовой группе клетей при использовании принудительного межклетевого охлаждения и в черновой группе для решения задач ресурсо- и энергосбережения.

Ключевые слова: косвенное измерение температуры, регулирование температуры, моделирование.

Развитие отраслей промышленности, потребляющих листовую прокат, требует от его производителей высокой точности размеров и формы (плоскостности), заданных и стабильных свойств горячекатаных полос. Температурно-скоростной режим прокатки является одним из основных факторов, определяющих производительность листопрокатного комплекса (ЛПК) "печи – стан" и качество горячекатаной продукции. Регулирование температуры металла в ключевых точках технологической линии "нагрев слябов – горячая прокатка полос" позволяет повысить скорость прокатки и сократить ресурсо- и энергозатраты, что в свою очередь приводит к сокращению издержек производства.

В условиях реального функционирования такого сложного технологического объекта, как современный ЛПК, качество металла в значительной мере обеспечивается стабильностью толщины и температуры полосы. В свою очередь, имеется взаимосвязь между толщиной и температурой металла через величину усилий прокатки в клетях. В настоящей статье приводятся результаты разработок Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН) в области управления температурно-скоростным режимом прокатки полос при использовании информации об усилиях прокатки в АСУТП для ЛПК "печи – стан".

В общем случае изменение усилия прокатки в i -й клетке P_i при воздействии соответствующих возмущающих воздействий может быть представлено в виде [1]:

$$\Delta P_i = K_{T,i} \Delta T_i + K_{S,i} \Delta S_i + K_{h,i} \Delta h_{i-1}, \quad (1)$$

где T_i и S_i – изменение температуры полосы и перемещение нажимного устройства в i -й клетке соответственно; h_{i-1} – изменение продольного профиля (разнотолщинности) полосы на выходе $(i-1)$ -й клетки и следовательно на входе в i -ю клетку; $K_{T,i}$, $K_{S,i}$, $K_{h,i}$ – передаточные коэффициенты.

В то же время продольная разнотолщинность полосы в i -ой клетке, обусловленная изменением усилия прокатки и перемещением нажимного устройства в этой клетке, описывается выражением:

$$\Delta h_i = \Delta S_i + \frac{\Delta P_i}{M_{k,i}}, \quad (2)$$

где $M_{k,i}$ – модуль жесткости i -ой клетки.

При невозможности непосредственного определения температуры металла в прокатных клетях косвенное измерение отклонения температуры металла

может быть осуществлено измерением усилий прокатки и положения нажимных устройств в двух смежных клетях на основе зависимости (1) и (2):

$$\begin{aligned} \Delta T_i &= \frac{\Delta P_i - K_{S,i} \Delta S_i - K_{h,i} \Delta h_{i-1}}{K_{T,i}} = \\ &= \frac{\Delta P_i - K_{S,i} \Delta S_i - K_{h,i} \left(\Delta S_{i-1} + \frac{\Delta P_{i-1}}{M_{k,i-1}} \right)}{K_{T,i}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Пример технической реализации косвенного измерения отклонения температуры металла в i -й клетке при регулировании интенсивности принудительного межклетевого охлаждения в чистовой группе клетей представлен на рис. 1 [2]. Принято, что в $(i-1)$ -й клетке имеют место периодические отклонения усилия прокатки, обусловленные периодическими колебаниями температуры по длине полосы на входе в эту клетку, а чистовая группа оборудована измерителями усилий, скорости прокатки и перемещения нажимных винтов прокатных клетей.

На первый вход сумматора 4 с измерителя усилия прокатки 3 ($(i-1)$ -й клетки) подается сигнал, пропорциональный величине отклонения усилия прокатки ΔP_{i-1} в этой клетке от среднего значения. На второй вход сумматора 4 от измерителя 1 перемещения нажимного устройства $(i-1)$ -й клетки подается сигнал, пропорциональный перемещению нажимного устройства ΔS_{i-1} , если оно имело место для компенсации разнотолщинности полосы. На выходе сумматора 4 формируется сигнал, пропорциональный разнотолщинности

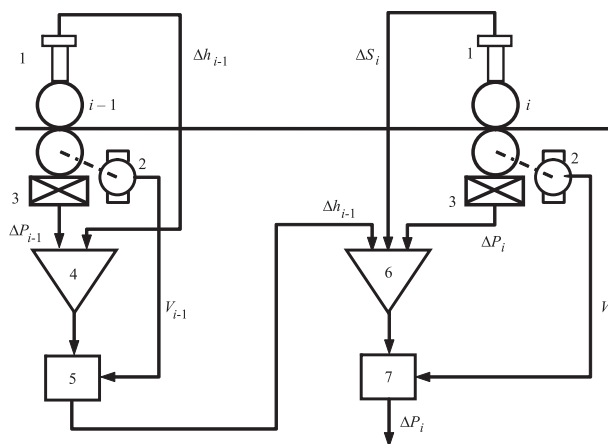


Рис. 1. Функциональная схема косвенного измерения температуры металла

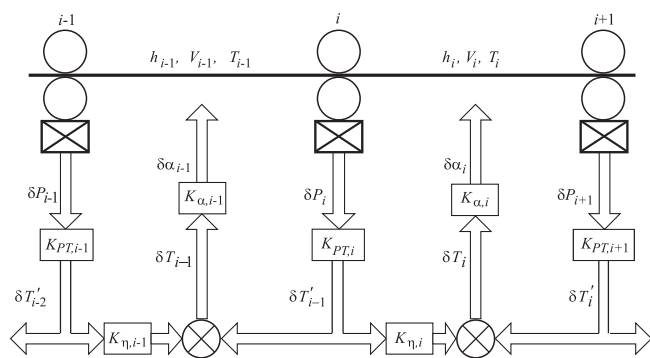


Рис. 2. Функциональная схема ограничительной коррекции расхода воды

полосы в $(i-1)$ -й клетке Δh_{i-1} . Сигнал с выхода сумматора 4 с задержкой, обеспечиваемой блоком 5 регулируемого запаздывания, подается на первый вход сумматора 6. Задержка в блоке 5 равна времени перемещения сечения полосы от $(i-1)$ -й до i -й клетки по межклетевому промежутку и определяется скоростью прокатки V_{i-1} , полученной на основе информации от измерителя скорости раската 2 в $(i-1)$ -й клетке.

На второй и третий входы сумматора 6 подаются, аналогично изложенному выше, сигналы, пропорциональные соответственно величине отклонения усилия прокатки ΔP_i от среднего значения и перемещению нажимного устройства ΔS_i в i -ой клетке. На выходе сумматора 6 формируется сигнал, пропорциональный периодическому отклонению температуры полосы в i -ой клетке ΔT_i . Этот сигнал с задержкой, обеспечиваемой блоком 7 регулируемого запаздывания, является корректирующим для изменения интенсивности охлаждения в i -ом межклетевом промежутке, следующим за i -й клетью. Задержка в блоке 7 равна времени перемещения сечения полосы от i -й клетки к установке охлаждения в i -м межклетевом промежутке и определяется скоростью прокатки V_i , полученной на основе информации от измерителя скорости раската 2 в i -й клетке. При положительном сигнале ΔT_i увеличивается расход воды в i -ом межклетевом промежутке, а при отрицательном уменьшается. Аналогичным образом функционирует канал коррекции по возмущению в последующих межклетевых промежутках, осуществляя косвенное измерение и устранение периодических колебаний температуры и толщины металла.

Использование информации от измерителей усилий прокатки в чистовой группе клетей лежит в основе разработанного в ИПУ РАН метода ограничительной коррекции расхода воды в отдельных межклетевых промежутках [3]. Для улучшения качества регулирования предлагается корректировать интенсивность принудительного охлаждения в смежных с рассматриваемой i -й клетью межклетевых промежутках (рис. 2).

При чрезмерном охлаждении полосы в отдельных межклетевых промежутках возможно превышение усилиями прокатки в клетях допустимых значений и в связи с этим нежелательное изменение профиля и формы полосы. Для предотвращения этого явления

предлагается одновременно (для каждого сечения полосы) изменять расход воды G в $(i-1)$ -м и i -м межклетевых промежутках в функции отклонения усилия прокатки в i -й клетке.

При превышении усилием прокатки в i -й клетке допустимого значения на величину ΔP_i необходимо сократить расход воды и соответственно увеличить температуру в $(i-1)$ -м межклетевом промежутке на величину

$$\delta T'_{i-1} = \delta P_i K_{PT, i},$$

где $K_{PT, i}$ – передаточный коэффициент, характеризующий взаимосвязь усилия прокатки и температуры металла в клетке.

Прокатная клеть обладает способностью снижения отклонения температуры на выходе из клетки по сравнению с ее входом. С учетом изложенного для стабилизации температуры металла в $(i+1)$ -й клетке необходимо сократить расход воды и соответственно увеличить температуру в i -м межклетевом промежутке на величину

$$\delta T''_i = \delta T'_{i-1} K_{\eta, i},$$

где $K_{\eta, i}$ – передаточный коэффициент, характеризующий трансформацию отклонения температуры в i -й клетке.

Суммарное изменение температуры в i -м межклетевом промежутке в момент времени t (рис. 2) составит:

$$\delta T_i(t) = \delta T'_i(t) + \delta T''_i(t - \tau_i),$$

где τ_i – время транспортного запаздывания от $(i-1)$ -го до i -го межклетевых промежутка, зависящее от скорости прокатки в $(i-1)$ -й (V_{i-1}) и в i -й (V_i) клетях.

Требуемое изменение коэффициента теплоотдачи от полосы к воде α , определяющего интенсивность межклетевых охлаждения,

$$\delta \alpha_i = \delta T_i K_{\alpha, i},$$

где $K_{\alpha, i}$ – передаточный коэффициент, характеризующий изменение температуры металла при изменении коэффициента теплоотдачи от полосы к воде α .

Потребное изменение расхода воды $G = f(\alpha)$ при этом определяется по результатам эксперимента на конкретном объекте.

В связи с возможностью изменения усилий прокатки в клетях чистовой группы перераспределение расхода воды может быть также использовано в качестве дополнительного воздействия в канале управления профилем и формой полосы [4]. Известно, что обеспечение хорошей формы полосы возможно только при одновременной стабилизации усилий прокатки в смежных клетях. С учетом того, что дефект формы образуется в последних клетях чистовой группы стана, а использование межклетевых охлаждения в качестве управляющего воздействия для изменения усилия прокатки позволяет оперативно в масштабе РВ управлять профилем и формой полосы в клетях, предлагается алгоритм совместного управления температурой и геометрическими параметрами полосы при прокатке с принудительным межклетевым охлаждением.

Первоначально осуществляется коррекция интенсивности охлаждения металла в последнем межклетевом промежутке в функции изменения усилия прокатки в последней клетке чистовой группы в соответствии с величиной уставки. Для одновременной стабилизации формы полосы в предыдущих клетях изменяют интенсивность охлаждения металла в каждом межклетевом промежутке в зависимости от разности между значением усилия прокатки, измеренным в клетке, замыкающей данный межклетевый промежуток, и уставкой. Регулирование интенсивности охлаждения металла в последнем межклетевом промежутке по отклонению усилия прокатки в последней клетке от уставки осуществляется до тех пор, пока абсолютная величина разности между измеренным и заданным значениями температуры конца прокатки не превысит допустимое значение. Затем осуществляется переключение канала регулирования в последнем межклетевом промежутке с отклонения усилия прокатки в последней клетке на отклонение температуры конца прокатки. Таким образом, предложенный алгоритм позволяет реализовать два канала регулирования интенсивности охлаждения металла в последнем межклетевом промежутке: по отклонению усилия прокатки в последней клетке или по отклонению температуры конца прокатки.

В Институте проблем управления РАН для решения задач ресурсо- и энергосбережения при создании АСУТП металлургического производства разработана имитационная система, охватывающая участки нагрева металла и его прокатки на листовых станах (с различными технологическими схемами и составами оборудования). При построении системы имитируется исходная настройка управления ЛПК "печи – стан" и ее коррекция. Исходная настройка определяет установочные параметры процесса (режимы обжатий в черновых клетях, температуру нагрева слэбов $T_{сл}$), а ее коррекция осуществляется на основе информации об отклонении реальной температуры нагрева слэба от уставки [5].

Критерий оптимальности энергосберегающей исходной настройки представлен в виде суммарных удельных (на единицу массы металла) затрат на нагрев и прокатку металла. Основные варианты энергосберегающего режима исходной настройки клетей: 1) топливосберегающий, обеспечивающий минимальный расход топлива и угара металла в нагревательных печах; 2) электросберегающий, предназначенный для обеспечения минимального расхода электроэнергии в главных приводах прокатных клетей.

Внедрение энергосберегающей технологии неизбежно ведет к нарушению равномерности распределения энергосиловых параметров по прокатным кле-

тям. Загрузка клетей при топливо- и электросберегающем режимах сильно смещена: в первом случае – в сторону последних клетей, во втором – в сторону первых клетей черновой группы. Аналогичным образом имеет место существенная неравномерность усилий прокатки в клетях черновой группы. Указанную неравномерность предлагается характеризовать с помощью коэффициента неравномерности

$$K_{нер} = \frac{\Delta P}{P_{макс}}$$

где $\Delta P = P_{макс} - P_{мин}$; $P_{макс}$ и $P_{мин}$ – соответственно, максимальное и минимальное значения усилий прокатки в черновых клетях при реализации какого-либо энергосберегающего режима.

Так, например $K_{нер} = 0,1$ означает, что отклонение усилия прокатки в любой из клетей не превышает 10% от его максимального значения, имеющего место в какой-либо клетке. Следовательно, задав допустимую неравномерность усилий прокатки посредством коэффициента $K_{нер}$, можно обеспечить исходную настройку

топливо- или электросберегающего режима с заданной равномерностью энергосиловых параметров.

Анализ результатов моделирования показал, что для каждого типоразмера прокатываемого металла (по толщине, ширине и температуре слэба и подката) может быть определена область допустимой равномерности усилий прокатки в черновых клетях, схематично представленная на рис. 3. В координатах ($K_{нер}$, $T_{сл}$) эта область ограничена треугольником, сторона ab которого соответствует электросберегающему, а сторона ac – топливосберегающему режиму прокатки. Точка a определяет режим с практически

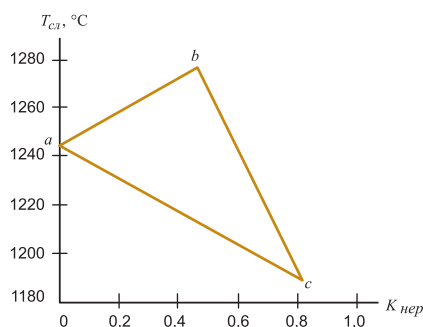


Рис. 3. Область допустимой равномерности усилий прокатки в пятиклетевой черновой группе. Параметры прокатки: толщина слэба – 240 мм, ширина слэба – 1400 мм, толщина подката – 30 мм, температура подката – 1100 °C

равномерными усилиями прокатки во всех клетях черновой группы, а точки b и c – соответственно электросберегающий и топливосберегающий режимы без специального снижения неравномерности усилий прокатки в черновых клетях. Иными словами, каждому типоразмеру соответствует некоторая область возможного обеспечения равномерности усилий прокатки в черновых клетях, задав которую, система может выбрать параметры того или иного варианта энергосберегающего режима исходной настройки клетей.

Следует отметить, что повышение равномерности усилий прокатки (уменьшение коэффициента $K_{нер}$) приводит к снижению эффективности энергосбережения. Например (рис. 3), эффективность электросбережения для электросберегающего режима (точка b) снижается на 9%, а эффективность топливосбережения для топливосберегающего режима (точка c) – на 7% по сравнению с режимом равномерной загрузки клетей (точка a на рис. 3).

Информация от измерителей усилий прокатки в клетях черновой группы, входящей в состав ЛПК "печи – стан", может также использоваться в соответствии с зависимостью (3) для косвенного измерения температуры металла при коррекции в масштабе РВ исходной настройки технологической линии "нагрев металла – черновая прокатка полос" [6].

В основе имитационной модели для коррекции в масштабе РВ параметров исходной настройки лежит алгоритм перераспределения обжатий в отдельных клетях на основе косвенного определения температуры металла по измеренным энергосиловым параметрам прокатки. В общем виде имитационная модель коррекции исходной настройки для эквивалентного трехклетевого стана, состоящего из i , $(i+1)$ и $(i+2)$ -й клеток, может быть представлена в виде системы уравнений [7]:

$$\left. \begin{aligned} \widehat{T}_i &= f_1(u_i, x_i) \\ u_{i+1} &= f_2(\widehat{T}_i, \widehat{T}_{i+2}, x_{i+2}, \tau_i) \\ \widehat{T}_{i+2} &= f_3(u_{i+1}, x_{i+2}, \tau_{i+2}) \end{aligned} \right\}.$$

Здесь τ_i , τ_{i+1} – время движения металла (транспортное запаздывание) соответственно от i -й до $(i+1)$ -й и от $(i+1)$ -й до $(i+2)$ -й клетки трехклетевой области управления; u_{i+1} – управляющее воздействие (изменение обжатия металла) в $(i+1)$ -й клетки с учетом времени транспортного запаздывания τ_i ; \widehat{T}_i – измеренная косвенным образом температура металла в $(i+1)$ -й клетки; \widehat{T}_{i+2} – рассчитанное значение температуры соответствующего сечения металла (с учетом времени транспортного запаздывания τ_{i+1}) в $(i+2)$ -й клетки.

Косвенное измерение температуры металла осуществляется в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

Таким образом, возможность использования информации от измерителей энергосиловых параметров (в первую очередь, усилий прокатки) может быть успешно использована при создании новых методов, алгоритмов и систем управления температурно-скоростным режимом широкополосного стана горячей прокатки.

Список литературы

1. Генкин А.Л., Куделин А.Р., Масальский Я.С. Технологические аспекты совместного управления температурой и геометрическими параметрами полосы при прокатке с межклетевым охлаждением // Идентификация систем и задачи управления: Тр. VI Межд. Конф. SICPRO '07. М.: ИПУ. 2007.
2. Генкин А.Л., Куделин А.Р., Масальский Я.С. Системы совместного управления температурой и геометрическими параметрами полосы при прокатке с межклетевым охлаждением // Там же. 2007.
3. Генкин А.Л. Исследование широкополосного стана как объекта управления температурой конца прокатки // Проблемы управления в технике, экономике, биологии. М.: Наука, 1981.
4. Генкин А.Л., Куделин А.Р., Шаталов Р.Л. Алгоритм и система управления показателями качества полосы при горячей прокатке с межклетевым охлаждением раската // Производство проката. 2007. № 9.
5. Власов С.А., Генкин А.Л., Волочек Н.Г. Как решить актуальные проблемы автоматизации металлургических предприятий России // Промышленность России. 2000. № 1.
6. Генкин А.Л., Власов С.А., Масальский Я.С. Возможности энергосберегающего управления листопрокатным комплексом // Автоматизация в промышленности. 2003. № 3.
7. Генкин А.Л., Власов С.А., Кравцов С.В., Волочек Н.Г., Никулина И.В. Имитационное моделирование в интегрированном управлении металлургическими комплексами // Имитационное моделирование. Теория и практика: Тр. III всероссийской научно-практ. конф. ИММОД-2007. СПб: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения. 2007. Т. II.

Генкин Аркадий Львович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Контактный телефон (495) 334-87-59. E-mail: genfone@ipu.ru

Новая линейка контроллеров S7-1200 и панелей оператора Basic Panel

Департамент "Промышленная автоматизация" концерна Siemens разработал новый модульный ПЛК Simatic S7-1200, отличающийся большими возможностями, большей производительностью и компактностью и предназначенный для решения задач с числом дискретных выходов/входов – 284 ед. и аналоговых – 51 ед. ПО Simatic Step 7 Basic объединяет среды программирования контроллера и панелей оператора.

Центральный модуль Simatic S7-1200 имеет встроенные входы/выходы и может быть расширен с помощью модулей ввода/вывода и коммуникационных модулей. На лицевую панель модуля центрального процессора ПЛК можно установить специальную плату Signal Board, содержащую дополнительные дискретные входы/выходы либо аналоговый выход. Благодаря этому можно создать очень компактные решения для проектов с небольшим числом сигналов. ПЛК может иметь три коммуникационных модуля расширения, в том числе модули с интерфейсами RS-232/485.

Simatic S7-1200 имеет встроенный интерфейс Ethernet, через который подключается к ПК для программирования через сетевую карту Ethernet. Также S7-1200 может обмениваться данными

по Ethernet как с панелями оператора серии Basic Panels, так и с другими контроллерами. Специальный модуль CSM 1277 – четырехпортовый Ethernet хаб используется для подключения к сети нескольких контроллеров или панелей оператора.

По сравнению с предыдущей моделью Simatic S7-200 новый контроллер имеет более быстрый процессор и больший объем памяти, которая гибко распределяется между областью программы и данных. Ряд функций для решения ресурсоемких задач (управление перемещением, ПИД-регулирование и др.) встроен в виде стандартных программных блоков.

Решение на базе Simatic S7-1200 может включать панели серии Basic Panels со степенью защиты IP65 и встроенным интерфейсом Ethernet. Панели имеют сенсорные дисплеи 4...15 дюймов и функциональные клавиши. ПО Simatic Step 7 Basic предназначено для работы одновременно с контроллерами Simatic S7-1200 и с панелями серии Basic Panels. Пакет Simatic Step 7 Basic v10.5 со встроенным ПО WinCC Basic предоставляет пользователю множество новых, интуитивно понятных возможностей по совместной разработке проектов для контроллера и панелей. Это значительно повышает удобство и эффективность работы.

[Http://www.siemens.ru/ad](http://www.siemens.ru/ad)