

УДК 621.771.28

В.В. Кашаев**ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ В НЕПРЕРЫВНЫХ ГРУППАХ КЛЕТЕЙ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛОСЫ ОТ ЗАДАНОЙ**

В статье представлены исследования на математической модели процесса непрерывной прокатки, позволяющие определить влияние возмущающих воздействий на величину межклетевых сил и уширение и оптимизировать регулирующие воздействия

Ключевые слова: непрерывная прокатка, оптимизация, межклетевые силы, моделирование. Форм. 11. Лит. 3.

В.В. Кашаєв**ОПТИМІЗАЦІЯ ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ У БЕЗПЕРЕРВНИХ ГРУПАХ КЛІТЕЙ ПРОКАТНИХ СТАНІВ ПРИ ВІДХИЛЕННІ ТЕМПЕРАТУРИ СМУГИ ВІД ЗАДАНОЇ**

Представлені дослідження на математичних моделях процесу безперервної прокатки, дозволяючи визначити вплив збуджуючих дій на величину міжклітьових сил і поширення та оптимізувати регулюючі дії.

Ключові слова: безперервна прокатка, оптимізація, міжклітьові сили, моделювання.

V. Kashaev

OPTIMIZATION THE HIGH-SPEED MODE IN CONTINUOUS GROUPS OF ROLLING STANDS, WHEN THE TEMPERATURE OF THE STRIP DEVIATES FROM THE SPECIFIED RANGE

The paper presents research on the mathematical model of the process of continuous rolling, allowing to determine the disturbing effects on the value interstand forces and broadening, and optimize regulatory impact.

Keywords: continuous rolling, optimization, interstand forces, simulation.

Постановка проблемы. При решении задачи управления процессом непрерывной прокатки с помощью специализированной ЭВМ необходимо учитывать влияние различных факторов на технологический процесс. Наиболее удобным инструментом для исследования влияния различных возмущающих воздействий на режим натяжений полосы и геометрические размеры профиля является математическая модель процесса прокатки. Математическое моделирование позволяет выявить степень влияния различных факторов регулирования на размеры прокатываемой полосы и режимы работы стана, и разработать эффективные способы управления современными высокоскоростными прокатными станами.

Анализ публикаций по теме исследования. Несомненно, математическое и физическое моделирование сыграло большую роль в исследовании мелкосортных станов. Наиболее значимыми из последних работ следует считать работы Ю.В. Игнатовича, В.К. Смирнова, В.А.Шилова [1, 2], С.М. Жучкова, В.А. Тищенко, В.В. Филиппова [3].

Нерешенные части проблемы. В перечисленных работах при решении задач наблюдается осторожный подход авторов в использовании АСУ в качестве только советчика оператора. Такой подход обусловлен, прежде всего, целым рядом принятых ими допущений: величина износа калибра линейно зависит от количества прокатанных тонн; усредненный учет влияния температуры и марок стали на уширение; величина межклетевого натяжения минимальна и т.д.

Цель исследования. Определить необходимые управляющие воздействия, которыми являются относительные изменения скоростей валков, компенсирующие влияние данных возмущающих факторов, т.е. сводящих к минимуму межклетевые силы и уширения полосы. Тогда можно осуществить подстройку скоростного режима, по данным возмущающих воздействий, еще до входа полосы в чистовую группу клетей. Подстройка может осуществляться как автоматически, так и вручную, через оператора. С точки зрения простоты управления подстройкой скоростных режимов чистовой группы желательнее вести подстройку минимальным числом клетей.

Основные результаты исследования. Исследования, проведенные на математической модели, показывают, что при появлении возмущающих воздействий, таких как изменение раствора валков или температуры подката, в полосе возникают значительные межклетевые силы и уширение. Если до появления возмущающих воздействий стан был настроен на скоростной режим близкий к согласованному, то зная относительные значения возмущающих воздействий, можно с помощью системы уравнений определить величины межклетевых сил и уширений после каждой клетки.

Установившийся процесс в непрерывной группе клетей описывается системой уравнений,

которая в матричном виде может быть записана следующим образом:

$$A\vec{x} = \vec{P}, \quad (1)$$

где \vec{x} – вектор неизвестных, которыми являются межклетевые силы и уширения после каждой клетки;

A – матрица коэффициентов, определяемых калибровками клеток и энергосиловыми параметрами прокатки;

\vec{P} – вектор внешних воздействий.

Настройка ведется только изменением скоростных режимов клеток, поэтому вектор управляющих воздействий представим в виде:

$$\vec{U} = -A_{ni} \cdot \vec{\delta}n, \quad i = \overline{1,6}, \quad (2)$$

где A_{ni} – коэффициент пропорциональности;

$\vec{\delta}n$ – вектор относительного изменения скорости валков.

Тогда вектор возмущающих воздействий можно представить в виде:

$$\vec{v} = \vec{P} - \vec{U}, \quad (3)$$

В соответствии с обозначениями вектор возмущающих воздействий равен:

$$\vec{v} = -[A_{ni} \cdot \vec{\delta}h + A_{ri} \cdot \vec{\delta}h + A_{ri} \cdot \vec{\delta}\tau + A_{ti} \cdot \Delta t], \quad i = \overline{1,6},$$

где A_i – коэффициенты пропорциональности;

$\vec{\delta}h$, $\vec{\delta}\tau$, Δt – векторы относительного изменения высоты полосы.

Тогда уравнение (1) примет вид:

$$A\vec{x} = \vec{B}(\vec{U} + \vec{v}), \quad (4)$$

где $B = \|B_{ij}\|$ – постоянная матрица размерности 12X6, причем $B_{ij} = 0$ при $i \neq j$ и $B_{ij} = 1$ при $i = j$.

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{12} \end{pmatrix}, \quad \vec{u} = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_6 \end{pmatrix}, \quad \vec{v} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_{12} \end{pmatrix}$$

Необходимо минимизировать длину вектора состояний полосы \vec{x} , т.е. при заданном числе компонент вектора управляющих воздействий \vec{u} и при известном векторе возмущающих воздействий \vec{v} минимизировать функцию цели вида:

$$c(\vec{u}, \vec{v}) = \vec{x}'\vec{x}, \quad (5)$$

Иными словами, при заданном числе клеток, подлежащих регулированию каждому вектору возмущающих воздействий необходимо поставить в соответствие такой вектор управляющих воздействий, который минимизирует по сумме квадратов вектор межклетевых сил и уширений.

Решение задачи оптимизации при отсутствии ограничений на величины относительного изменения скорости валков предполагает, что система (4), разделяется на две подсистемы:

$$A_1\vec{x} = \vec{v}_1 + \vec{u}, \quad (6)$$

$$A_2\vec{x} = \vec{v}_2, \quad (7)$$

Уравнения подсистемы (6) включают те из уравнений системы (4), в которые входят изменения скорости двигателей клеток, подлежащих регулированию. Скорости двигателей остальных клеток, входящих в подсистему (7) фиксированы.

Минимальный вектор силы натяжения и уширений будет определяться выражением:

$$\vec{x} = A_2(A_2 \cdot A_2')^{-1} \cdot \vec{v}_2, \quad (8)$$

Вектор управляющих воздействий, достигающий минимум вектору \vec{x} , определяется в виде:

$$\vec{u} = A_1\vec{x} - \vec{v}_1, \quad (9)$$

При любой комбинации качества регулируемых клеток будет изменяться только вид подсистем (6) и (7).

При отклонении температуры подката Δt_j от номинальной, вектор возмущающих воздействий, входящий в систему (4) будет иметь вид:

$$\bar{v} = -At_{ij} \cdot \Delta \bar{t}_j, \quad i = \overline{1,6} \quad (10)$$

Минимальный вектор управляющих воздействий определяется в соответствии с уравнением (8), а требуемые относительные изменения скорости клеток, подлежащих регулированию, выражаются из (9) в следующем виде:

$$\delta_{ni} = \frac{\Delta \sigma_{i,i+1} - \Delta \sigma_{i-1,i} - A_{ci} \delta_c - A_{ei} \delta_{ei-1} - A_{ei} \delta_{ei} - At_{ij} \Delta t_j}{A_{ni}}, \quad i = \overline{1,6} \quad (11)$$

где $\Delta \sigma_{i-1,i}$ – приращение натяжений в межклетевом промежутке $i-1, i$;

δ_{ei} – относительные изменения ширины полосы после i -й клетки;

δ_c – относительные изменения константы прокатки;

Δt_j – относительные изменения температуры полосы при прокатке;

A_i – коэффициенты пропорциональности между возмущениями на стане и приращением натяжений и уширений.

Алгоритм настройки скоростных режимов предусматривает определение с помощью ЭВМ технологических коэффициентов A_i и определение оптимального вектора управляющих воздействий δ_n с последующей выдачей корректирующих воздействий на электроприводы клеток стана. Одним из преимуществ данного алгоритма состоит в том, что он позволяет воздействовать на минимальное число двигателей клеток.

Получены результаты оптимизации для относительного изменения температур $\Delta t_1 = 100^\circ \text{C}$ и $\Delta t_2 = -100^\circ \text{C}$. Определены средние абсолютные значения натяжения $|\Delta \sigma|_{cp}$ и средние абсолютные значения изменения скоростей $|\delta n|_{cp}$, доставляющие минимум вектору межклетевых сил и уширений. Средние абсолютные значения уширений в полосе $|\delta b|_{cp}$ аналогичны $|\Delta \sigma|_{cp}$.

Из полученных результатов, очевидно, что после подстройки клеток величины межклетевых сил в полосе существенно уменьшаются. Уменьшение сильнее сказывается при увеличении числа регулируемых клеток. При подстройке одной клетью наилучшими являются варианты регулирования первой и шестой клетью, при подстройке двумя клетями – варианты 12, 13, 16, 46, при подстройке тремя клетями – варианты 123, 146, 456, четырьмя клетями – варианты 1235, 1456 и т.д. Относительные изменения скоростей при регулировании одной клетью не превышает 3 %, двумя клетями – 2,2 %, тремя клетями – 1,7 %.

Для ориентировочной подстройки непрерывной группы клеток, при отсутствии УВМ, по результатам расчетов можно построить номограммы для определения требуемых относительных изменений скоростей.

Выводы. Результаты оптимизации позволяют по уравнениям математической модели процесса прокатки выбрать алгоритм настройки в соответствии с точностью используемых измерителей натяжения. Моделирование вариантов настройки шести клетевой группы на ЭВМ показало, что наиболее удобным, с точки зрения величин управляющих воздействий на клетки, является комбинированный алгоритм настройки с фиксацией скорости 3-й клетки, а иногда 4-й. Таким образом, при настройке по методу рекуррентных соотношений значительно удобнее, чем способ подстройки последующей клетки под предыдущую. Одним из преимуществ такого алгоритма настройки является использование минимального числа регулируемых двигателей прокатных клеток, а также снижение требований к точности датчика измерения натяжения.

Разработанные математические модели могут быть использованы также для согласования скоростных режимов на сортовых, трубных и им подобных станах, а также оптимизации системы управления летучими ножницами.

1. Смирнов В.К. Применение экспериментальных систем для анализа и проектирования технологии сортовой прокатки / В.К. Смирнов, В.А. Шилов, Ю.В. Игнатович // Сталь. – 2006. – №9. – С. 40-42;
2. Шилов В.А. Новое поколение САПР технологии сортовой прокатки / В.А. Шилов, В.К. Смирнов // Сталь. – 2005. – №4. – С. 36-38;
3. Тищенко В.А. Пути повышения точности прокатки в чистовых блоках клеток современных проволочных станов / В.А. Тищенко, С.М. Жучков, В.В. Филиппов // Сталь. – 2004. – №10. – С. 51-54.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2013.