

621.771.2
к 775

Министерство высшего и среднего
специального образования СССР

Челябинский политехнический институт

На правах рукописи

Аспирант В.И. Крайнов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
НЕПРЕРЫВНЫХ СОРТОВЫХ СТАНОВ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель профессор,
доктор технических наук
В.Н. Выдрина

Челябинск, 1966 г.

4 ПИ

Уважаемый тов. _____

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета, посвященного защите, или прислать свои отзывы в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью.

О дне и времени защиты за 10 дней будет опубликовано в газете "Челябинский рабочий".

Предварительно защита намечена на _____
1966 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Адрес института: г. Челябинск, 44, проспект им. В.И. Ленина, 76, Челябинский политехнический институт.

Дата отправки автореферата _____ 1966 г.

Ученый секретарь
доцент, канд. техн. наук

В.Н. ГОНЧАР



Диссертационная работа выполнена на кафедре обработки металлов давлением (прокатки) Челябинского политехнического института.

Экспериментальная часть работы проведена на непрерывном сортовом стане 300 Челябинского металлургического завода и на лабораторном стане 180 кафедры прокатки.

В В Е Д Е Н И Е

Директивами XXIII съезда Коммунистической партии Советского Союза по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966-1970 годы предусмотрены высокие темпы развития черной металлургии, производство проката намечено довести до 95-99 млн. тонн. Особое внимание обращается на улучшение качества металла, значительное расширение сортамента проката, интенсификацию производственных процессов.

Основным направлением технического прогресса в прокатном производстве является комплексная механизация и автоматизация производственных процессов. Дальнейшее повышение качества продукции и расширение сортамента прокатываемого металла зависит от надежности и эффективности систем автоматического регулирования скоростного режима валков непрерывных станов, позволяющих поддерживать необходимые межклетьевые натяжения.

Развитие и совершенствование методов автоматического регулирования работы непрерывных прокатных станов сдерживается из-за отсутствия количественных закономерностей, достаточно правильно описывающих процесс непрерывной прокатки с учетом всех необходимых факторов этого процесса, и надежных способов замера натяжения полосы в межклетьевом проеме лутке.

В данной работе рассматриваются технологические вопросы автоматизации непрерывных сортовых станов. Задача решалась на примере непрерывно-заготовочного стана 900/700/500 и непрерывного проволочного стана 250.

На основе энергетической теории взаимодействия поло-сы и валков получены основные закономерности непрерывной прокатки в системе вытяжных калибров ромб-ромб (ромб-квад-рат), что позволило разработать алгоритмы, в аналитической форме описывающие установившийся процесс непрерывной про-катки на крупносортовых станах.

Выведены закономерности непрерывной прокатки на ста-нах с одним приводным валком на гладкой бочке и по системе калибров овал-овал (овал-круг). Предложен метод замера на-тяжений на непрерывных станах с одним приводным валком пу-тем измерения соотношения угловых скоростей холостого и приводного валков.

Диссертация состоит из трех частей и девяти глав, из-ложена на 233 страницах машинописного текста со 135 рисун-ками, 32 таблицами. Список использованной литературы со-держит 112 наименований.

Часть I

АЛГОРИТМЫ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОКАТКИ

I. Основные закономерности прокатки в квадратных и ромбических калибрах в условиях непрерывных станов

Из условия постоянства секундных объемов для произ-вольного сечения в очаге деформации и для сечения выхода и

совпадения в каждой точке критической линии скоростей полосы и валков получено уравнение критической линии в следующем виде

$$y_s = \frac{R_k \operatorname{tg} \varphi_1}{1 + (\lambda - 1) \frac{d}{d_0}} - R_b \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (1)$$

где R_k — катающий радиус, т.е. радиус той окружности, скорость точек которой равна скорости полосы при выходе из валков;

R_b — радиус валка по дну калибра;

φ_1 — половина угла в вершине калибра;

λ — вытяжка полосы;

d_0 — угол захвата, отнесенный к дну калибра;

d — текущее значение угла.

При выводе выражения (1) использовалась прямолинейная зависимость изменения площади поперечного сечения вдоль очага деформации, которая, как показали исследования, дает хорошие совпадения с опытными данными при прокатке в системах калибров ромб-ромб, овал-овал.

Проанализированы возможные случаи взаимного расположения критической линии и линии, ограничивающей площадь контакта полосы и валков путем совместного решения уравнения (1) и уравнения линии пересечения полосы с поверхностью калибра

$$y_0 = \frac{b_1}{2} \left[1 - \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 \right], \quad (2)$$

здесь b_1 — ширина полосы на поверхности контакта с валком в плоскости выхода из очага деформации.

Исследования проведены в широком диапазоне вытяжек $\lambda = 1,04 - 1,6$ и отношения R_b/h , в пределах от 10 до 1,25.

Анализ полученных данных показал, что при прокатке крупных полос в ромбических и квадратных калибрах практически имеет место случай, когда критическая линия лежит внутри линии пересечения полосы с поверхностью калибра.

Для вывода зависимости катящегося радиуса от основных параметров процесса непрерывной прокатки в квадратных и ромбических калибрах используется условие энергетического баланса

$$N_b - N_{\varphi} - N_m + N_1 - N_0 = 0. \quad (3)$$

Мощность N_b на вальках для всего омага деформации с учетом знака в зоне опережения и отставания может быть записана в следующем виде (для двух валков)

$$N_b = 2 \int_{F_k} v dP - 4 \int_{F_{on}} v dP. \quad (4)$$

Здесь F_k - полная площадь контакта прокатываемой полосы с вальками;

F_{on} - площадь зоны опережения;

$dP = \tau R dd \frac{dy}{\sin \varphi_1}$ - сила трения на элементарной площадке контактной поверхности;

τ - текущее значение удельных сил трения;

$R dd$ - длина элементарной площадки;

$\frac{dy}{\sin \varphi_1}$ - ширина элементарной площадки.

Мощность формоизменения полос N_{φ} можно определить из соотношения

$$N_{\varphi} = \sigma_s V_{см}, \quad (5)$$

в котором σ_s - среднее значение истинного сопротивления пластической деформации с учетом температуры, скорости и степени деформации.

В рассматриваемой системе калибров секундный смещенный объем металла равен

$$V_{см} = F_1 v_1 \ln \frac{h_0}{h_1}, \quad (6)$$

где F_1 - площадь выходного сечения полосы;

v_1 - скорость полосы на выходе из валков;

h_0 и h_1 - высота полосы до и после прокатки.

Отсюда

$$N_{\varphi} = \sigma_s F_1 v_1 \ln \frac{h_0}{h_1}. \quad (7)$$

При прокатке в калибрах на мощность формоизменения могут оказывать заметное влияние деформации сдвига и среза. Их можно учитывать коэффициентом η , который представляет собой отношение фактической мощности формоизменения (с учетом относительных сдвигов и среза) к мощности, вычисленной по формуле (7).

Таким образом, мощность формоизменения при прокатке в квадратных и ромбических калибрах определяется по формуле

$$N_{\varphi} = \eta \sigma_s F_1 v_1 \ln \frac{h_0}{h_1}. \quad (8)$$

Мощность N_m сил трения на контактной поверхности (для двух валков)

$$N_m = 2 \iint_{F_k} (v - v_n) dP - 4 \iint_{F_{on}} (v - v_n) dP, \quad (9)$$

где $v_n = \frac{F_1 v_1}{F}$ - тангенциальная скорость точек полосы.

Мощности переднего N_1 и заднего N_0 натяжений

$$\begin{aligned} N_1 &= \sigma_1 F_1 v_1, \\ N_0 &= \sigma_0 F_0 v_0. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь σ_1 и σ_0 - удельные переднее и заднее натяжения полосы.

Подставляя в условие энергетического баланса значения составляющих его величин, получим выражение для определения катающего радиуса

$$R_k = 2R_b [1 - \cos(\beta + 60^\circ)],$$

$$\beta = \frac{1}{3} \arccos(1 - 1,5d),$$

$$d = \frac{2F_k \cos \varphi_1 m}{q \alpha_0 D_b^2} - \frac{(n \sigma_0 \ln \frac{h_0}{h_1} - \sigma_1 + \sigma_0) F_1 (\lambda - 1) \cos \varphi_1}{\tau_{c2} \alpha_0 D_b^2},$$

$$q = \frac{\tau_{c2}}{\tau_c},$$

(II)

$$m = (\lambda - 1) - \frac{3}{8}(\lambda - 1)^2 + \frac{1}{5}(\lambda - 1)^3 - \frac{1}{8}(\lambda - 1)^4,$$

τ_c и τ_{c2} - удельная (средняя) сила трения соответственно на контактной поверхности очага деформации и в зоне опережения.

Если рассматривать скорость валков по вершине калибра, то опережение будет определяться из равенства

$$i = \frac{R_k}{R_b} - 1.$$

(I2)

Подставляя сюда значение R_k из формулы (II), получим

$$i = 1 - 2 \cos(\beta + 60^\circ).$$

(I3)

В результате решения интегралов равенства (4) получено выражение для определения мощности прокатки в квадратных и ромбических калибрах

$$N_b = \frac{4\tau_c \omega b_1 d_0}{3 \sin \varphi_1} \left(R_b^2 + \frac{2R_b b_1}{5 \tan \varphi_1} + \frac{2b_1^2}{35 \tan^2 \varphi_1} \right) -$$

(I4)

$$- \frac{4\tau_{c2} \omega d_0}{3(\lambda - 1) \cos \varphi_1} \left[(R_k - R_b)^3 + 3R_b (R_k - R_b)^2 \right].$$

где ω — угловая скорость валков.

Если в равенстве (14) пренебречь членами $\frac{2b_1^2}{35 \operatorname{tg}^2 \varphi_1}$ и $(R_k - R_b)^3$ и принять $R_k = [1 + (\lambda - 1) \frac{\delta_b}{\alpha_0}] R_b \cos \delta_b$, то получим

формулу Вндринга-Баркова для определения мощности на валках при прокатке в системе калибров ромб-ромб (ромб-квадрат)

$$N_b = \frac{4 \tau_c R_b \omega}{\cos \varphi_1} \left[\frac{\alpha_0 h_1 \theta (5R_b + 2h_1 \theta)}{15} - \frac{\delta_b^2 R_b^2 (\lambda - 1)}{q \alpha_0} \right]$$

Следует отметить, что указанные выше допущения справедливы только при $\lambda < 0,1$.

Рассмотрены вопросы кинематики процесса прокатки с максимальным уширением.

Таким образом, получены аналитические зависимости для определения критической линии, катающего радиуса, опережения и мощности при прокатке в квадратных и ромбических калибрах с натяжением полосы в зависимости от геометрических и технологических параметров прокатки.

II. Основные закономерности непрерывной прокатки с одним приводным валком

Для вывода основных закономерностей процесса непрерывной прокатки в овальных и круглых калибрах на станах с одним приводным валком необходимо определить границы и кинематику очага деформации в данной системе калибров.

В работе получено уравнение кривой, ограничивающей горизонтальную проекцию поверхности контакта полосы и валков

$$y_0 = \frac{b_1}{2} \left[1 - \left(\frac{x}{a} \right)^3 \right]. \quad (15)$$

Полная поверхность контакта полосы и валков при прокатке в системе калибров овал-овал (овал-круг) определяется из выражения

$$F_k = \frac{\pi}{3} R_b b_1 \alpha_0 \left(\frac{R_b + C_1}{R_b} - \frac{0,716 R_1}{R_b} \right), \quad (16)$$

R_1 - радиус дуги, образующей калибр;

R_b - половина расстояния между осями валков;

C_1 - геометрический параметр построения овальных калибров.

Для практических расчетов с достаточной степенью точности (2,8%) выражение, стоящее в скобках, можно принять равным единице при изменении глубины вреза в валках от $\frac{R_b}{h_1} = 5$ до $\frac{R_b}{h_1} = 30$. Тогда

$$F_k = \frac{\pi}{3} R_b b_1 \alpha_0.$$

Площадь горизонтальной проекции контактной поверхности равна

$$F_2 = \frac{3}{4} R_b b_1 \alpha_0. \quad (17)$$

Формула (17) совпадает с соответствующей формулой В.Г. Дрозда при прокатке овала в квадрате.

Уравнение критической линии при прокатке в овальных и круглых калибрах описывается выражением

$$y_1 = \sqrt{R_1^2 - \left[R_b + C_1 - \frac{R_k}{1 + (\lambda - 1) \frac{C_1}{R_b}} \right]^2}. \quad (18)$$

Вопросу прокатки с одним приводным валком посвящены работы И.М.Павлова, А.Ф.Головина, А.И.Целикова, А.А.Королева, В.Н.Видрина, Луэга и Трептова, Горста и Оскара и ряда других советских и зарубежных авторов.

В работе рассмотрен этот случай прокатки на основе энергетической теории взаимодействия полосы и валков, для которого закон сохранения энергии записывается в виде

$$N_n = N_{\varphi} + N_{m1} + N_{m2} + N_x + N_o - N_i, \quad (19)$$

где N_n — мощность на бочке приводного валка;

N_x — мощность, необходимая для преодоления сопротивления при вращении холостого валка.

Здесь и в дальнейшем индекс Π относится к приводному, а индекс X — к холостому валкам.

В общем случае момент прокатки для всех видов калибров выражается зависимостью

$$M_n = \tau_{cn} R_{bn} k_1 F_k \left(1 - 2 \frac{\tau_{cn}}{\tau_{cn}} \mathcal{L}_n\right). \quad (20)$$

Величина \mathcal{L}_n характеризует соотношение между площадями зоны опережения и полной контактной поверхностью приводного валка.

При прокатке на гладкой бочке

$$\mathcal{L}_n = \frac{\delta_n}{\mathcal{L}_o}, \quad (21)$$

где δ_n — критический угол на приводном валке;

в калибрах системы овал-овал (овал-круг)

$$\mathcal{L}_n = \frac{(2R_1)}{b_1(\lambda-1)} \mathcal{L}_n. \quad (22)$$

Величина коэффициента k_1 зависит от глубины вреза в валки и изменяется от 1,027 до 1,004 при изменении $\frac{R_1}{R_1}$ от 5 до 30.

Решая энергетический баланс прокатки с одним приводным валком, получим (при равенстве радиусов обоих валков)

следующие выражения для расчета кинематических параметров прокатки:

а) для приводного в случае гладкой бочки

$$\delta_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{h_1}{R_6}} \arctg \sqrt{\frac{h_2 - h_1}{h_1} \left(\frac{\tau_{c2n} + \tau_{c2s}}{\tau_{c2n}} \right)} - \frac{\xi d_0}{2 \tau_{c2n}} \left(\tau_{c2s} + \frac{M_c}{F_k R_6} \right) - \frac{h_1}{2 R_6 \tau_{c2n}} \left(n \sigma_s \ln \frac{h_2}{h_1} + \sigma_0 - \sigma_1 \right), \quad (23)$$

в калибрах овал-овал (овал-круг)

$$\begin{aligned} \delta_n &= l_n \arcsin \sqrt{\frac{2 R_6 l_n}{R_1} - \frac{R_6^2 l_n^2}{R_1^2}} = \\ &= \frac{0,436 b_1 m (\tau_{c2n} + \tau_{c2s})}{R_1 \tau_{c2n}} - \frac{0,416 b_1 (\lambda - 1)}{\tau_{c2n} R_1} \left(\tau_{c2s} + \frac{M_c}{F_k k_1 R_6} \right) - \\ &- \frac{0,436 F_k b_1 (\lambda - 1)}{\tau_{c2n} F_k R_1} \left(n \sigma_s \ln \frac{h_{oc}}{h_{ic}} + \sigma_0 - \sigma_1 \right); \end{aligned} \quad (24)$$

б) для холостого вала

$$\delta_n = \frac{d_0}{2 \tau_{c2n}} \left(\tau_{c2s} + \frac{M_c}{F_k R_6} \right); \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \delta_n &= l_n \arcsin \sqrt{\frac{2 R_6 l_n}{R_1} - \frac{R_6^2 l_n^2}{R_1^2}} = \\ &= \frac{0,416 b_1 (\lambda - 1)}{\tau_{c2n} R_1} \left(\tau_{c2s} + \frac{M_c}{F_k k_1 R_6} \right). \end{aligned} \quad (26)$$

Здесь M_c — момент сопротивления вращению холостого вала;
 h_{oc} и h_{ic} — высоты соответственной полосы до и после прокатки;

ξ — поправочный коэффициент.

Полученные зависимости удовлетворяют опытным данным.

III. Закономерности непрерывной прокатки сортового металла

В главе III дан краткий обзор опубликованных работ по математическому описанию процесса непрерывной прокатки. Теоретические исследования процесса прокатки с натяжением в большей части относятся к случаю прокатки холоднокатанного листа и ленты. Для случая прокатки в калибрах известно лишь несколько работ, посвященных исследованию мелкосортных станов.

Основной отличительной особенностью процесса непрерывной прокатки можно считать взаимосвязь отдельных клетей стана через прокатываемую полосу. Клетки непрерывного стана, прокатываемая полоса и электропривод представляют собой единую систему, в которой все процессы взаимосвязаны друг с другом, обуславливают друг друга и подчиняются закону сохранения энергии (3).

При составлении математического описания процесса прокатки на непрерывных сортовых станах в основу положен закон сохранения энергии (3), закон постоянства секундных объемов металла

$$C = v_i F_i (1 + \epsilon), \quad (27)$$

где v_i — скорость валков по дну калибра;

C — константа непрерывной прокатки;

n — уравнение механической характеристики электропривода

$$n = n_* \left(1 - \frac{M_{g6}}{M_n} S_* \right), \quad (28)$$

в котором n — число оборотов двигателя,

M_{g6} — момент на валу двигателя,

M_H — номинальный момент двигателя,

S_H — жесткость механической характеристики двигателя.

Нелинейное уравнение вида (3) приводится к линейному путем разложения его в ряд Тейлора около начальных значений переменных и сохранения приращений переменных только первого порядка.

При этих условиях основное физическое уравнение процесса непрерывной прокатки примет вид

$$\begin{aligned} d(\sigma_1 - \sigma_0) = & A_c \frac{dc}{c} + A_n \left(\frac{dn}{n} \right)_p + A_s \frac{d\sigma_s}{\sigma_s} + \\ & + A_h \frac{dh_0}{h_0} + A_b \frac{db_0}{b_0} + A_{h_1} \frac{dh_1}{h_1} + A_{b_1} \frac{db_1}{b_1} + \\ & + A_r \frac{dr}{r_b} + A_{T_c} \frac{dT_c}{T_c} + A_{T_{c2}} \frac{dT_{c2}}{T_{c2}} + A. \end{aligned} \quad (29)$$

Уравнение деформации, отражающее особенность деформации полосы при прокатке на непрерывном сортовом стане с учетом межклетьевого деформации, имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{db_1}{b_1} = & m_n \left(\frac{dh_1}{h_0} + \varepsilon_h \right) + m_h \frac{dh_1}{h_1} + m_b \varepsilon_b + \\ & + m_s (d\sigma_s' + d\sigma_s) + m_1 d\sigma_1. \end{aligned} \quad (30)$$

Здесь обозначено:

ε_h — относительная межклетьевого деформация по высоте полосы;

ε_b — относительная межклетьевого деформация по ширине полосы;

$d\sigma_s$ — изменение удельного натяжения полосы под действием межклетьевого деформации;

h_0 и b_0 — высота и ширина полосы до участка межклетьевого де-

формации.

В уравнениях (29), (30) коэффициенты A и m являются коэффициентами пропорциональности между возмущениями на стане и соответствующими нарушениями в его работе. Величина этих коэффициентов зависит от параметров очага деформации, электрических и механических параметров двигателей клетей. Они могут быть определены исходя из экспериментальных данных или теоретических формул. В работе получены зависимости для расчета этих коэффициентов.

Для стана, состоящего из n клетей, можно записать 2 n уравнений вида (29) и (30), которые и являются алгоритмами процесса прокатки на этом стане.

На первом этапе решения задачи, ввиду отсутствия в настоящее время необходимых данных, при непрерывной сортовой прокатке принято, что $\frac{d\tau_c}{\tau_c} = \frac{d\tau_{c2}}{\tau_{c2}} = \frac{d\sigma_s}{\sigma_s} = \frac{dh_c}{R_c} = 0$, вариация толщины полосы $\frac{dh_0}{h_0}$ и $\frac{dh_1}{h_1}$ не зависят от режима натяжений, отсутствует межклетьевая деформация полосы ($\epsilon_k = \epsilon_c = d\sigma_c = 0$). Так как динамические режимы ускорения и замедления стана не рассматриваются, то $A = 0$. Приведенные упрощения можно считать допустимыми в рассматриваемом случае.

На основе системы уравнений (29), (30) с учетом выше указанных допущений произведен анализ влияния перемещения нажимных винтов, вариаций скоростного режима и касательных сил трения валков на режим работы непрерывно-заготовочного стана 900/700/500. Исследование проведено при разных значениях жесткости механической характеристики двигателей клетей ($S_n =$

0; 0,05; 0,1) для конкретного случая прокатки плоской заготовки 80x400 мм и квадратной заготовки 80 мм из блума 370x370 мм. Величина вариаций возмущений во всех случаях принята равной 1%.

Вычисления производились на электронно-счетных машинах.

IV. Анализ влияния различных факторов на режим работы непрерывно-заготовочного стана

В главе IV рассмотрен вопрос влияния различных факторов технологического процесса на режим натяжений и ширину полосы на разных участках непрерывно-заготовочного стана 900/700/500 и построены графики, иллюстрирующие это влияние.

Приведем некоторые результаты проведенного анализа.

Наибольшее влияние на выходную ширину полосы оказывает перемещение нажимных винтов и изменение скорости валков последних клетей в каждой из групп непрерывно-заготовочного стана. Наиболее сильно на величину натяжений между клетями влияет перемещение нажимных винтов вертикальных клетей и изменение скорости валков горизонтальных клетей.

Результаты исследования свидетельствуют о неоднозначности влияния условий работы горизонтальных и вертикальных клетей на режим работы стана. Так, в ряде случаев, увеличение скорости валков вертикальных клетей приводит к утяжке профиля как на всех, так и отдельных участках после рассматриваемой клетки. В то же время увеличение скорости валков горизонтальных клетей вызывает уширение полос на этих участках. Чаще всего повышение числа оборотов валков какой-

либо клетки приводит к дополнительному уширению полосы на всех участках после этой клетки и утяжке профиля на всех участках перед рассматриваемой клетью.

Влияние касательных сил трения на режим работы стана качественно аналогично влиянию изменения скоростного режима валков. Однако, количественно в 10 и более раз меньше, чем влияние скоростного режима валков.

Изменение коэффициента трения в одной клетке оказывает существенное влияние на изменение параметров процесса непрерывной прокатки не только в этой клетке, но и в других клетях.

Жесткость механической характеристики двигателей неоднозначно влияет на натяжение и ширину полосы на разных участках стана. С точки зрения устойчивости технологического процесса можно рекомендовать величину жесткости механической характеристики двигателей клеток порядка $S_n = 0 - 0,02$. Степень жесткости механической характеристики по клетям целесообразно устанавливать так, чтобы последняя клетка имела жесткую механическую характеристику двигателя, постепенно смягчающуюся по направлению к первой клетке стана.

Коэффициент M_0 , учитывающий влияние заднего натяжения на уширение полосы, оказывает большое влияние на изменение параметров процесса непрерывной прокатки. В то же время, коэффициент M_1 , учитывающий зависимость ширины полосы от переднего натяжения, весьма слабо влияет на все параметры. Поэтому важным является правильный выбор значений этих коэффициентов при разработке алгоритмов процесса непре-

рывной прокатки.

Полученные в работе количественные результаты позволяют определить основные технологические параметры системы автоматического регулирования работы непрерывно-заготовочного стана 900/700/500, облегчают правильный выбор электродвигателя, величины жесткости его механической характеристики.

У. Система автоматического регулирования работы стана в функции натяжений

Наиболее перспективной системой автоматического регулирования работы непрерывных сортовых станов является система автоматического согласования скоростного режима валков в функции натяжения полосы между клетями.

Автоматизация непрерывных станов с индивидуальным приводом клетей должна предусматривать решение двух основных задач: автоматическое согласование скорости вращения валков всех клетей с целью поддержания минимальных натяжений полосы и автоматическое регулирование размеров профиля прокатываемой полосы. Это можно достигнуть путем создания автоматической системы регулирования с применением вычислительного устройства (дискретного или непрерывного действия). Вычислительное устройство должно выполнять следующие функции.

I. Определять в каждой клетке и в каком соотношении необходимо изменить скорость валков, чтобы устранить появившееся на каком-либо участке полосы натяжение. Вычислительное устройство должно учитывать зависимость между соотношением скорости двигателей и натяжением полосы на разных участках,

должно отражать закономерности процесса непрерывной прокатки.

2. Определять величину рассогласования скорости валков, требуемого для сохранения неизменного режима натяжений при перемещении нажимных винтов клетей в процессе регулирования размеров профиля.

3. Определять величину перемещения нажимных винтов клетей при корректировке размеров профиля прокатываемой полосы.

При бесконечной прокатке можно рекомендовать систему автоматического регулирования непрерывных станов со стабилизацией скорости валков выпускающей клетки. При прокатке же с незаполнением всего стана следует рекомендовать систему автоматического регулирования со стабилизацией скорости валков первой клетки.

В работе показана возможность создания системы автоматического регулирования скоростного режима валков непрерывно-заготовочного стана 900/700/500 в функции натяжения полосы при установке датчиков натяжения только на горизонтальных клетях.

Рассмотрены датчики, которые необходимо включить в систему автоматического регулирования. Проведенные производственные испытания магнитоупругого датчика натяжения показали возможность использования датчиков, основанных на магнитоупругом эффекте, для замера натяжений и давлений прокатки при создании системы автоматического регулирования работы непрерывных сортовых станов.

Часть II

МЕТОДЫ ЗАМЕРА НАТЯЖЕНИЙ

VI. Замер натяжений на непрерывных станах

В главе VI приведен анализ существующих методов измерения натяжений на непрерывных станах:

1) измерение натяжения путем замера давления прокатываемого металла на натяжной ролик или консольно закрепленную упругую балку;

2) измерение натяжения металла при помощи петледержателей (лушперов) с контргрузами или с приводом от двигателей;

3) установка между клетями специального натяжного устройства, создающего запас металла между клетями и натяжение в полосе;

4) метод качающейся подушки рабочего вала;

5) метод качающейся клетки;

6) способ установки клетки или подушки нижнего вала на ролик;

7) метод замера напряжений в станине, валке или подушке клетки;

8) измерение горизонтальных составляющих реакций в опорах клетки;

9) измерение крутящего момента главных приводов;

10) измерение амплитуды или частоты колебаний прокатываемой полосы.

Для замера натяжений на горизонтальных клетях непре-

ривных крупносортовых станов наиболее подходит метод качающейся подушки, точность замера которого порядка 10%.

Предложен метод замера натяжений на вертикальных клетях конструкции Южуралмашзавода с помощью качающейся клетки и использованием гидрозажимов. На вертикальных клетях месдозы натяжения устанавливаются с выходной стороны клетки между кассетой с валками и рамой клетки, с противоположной стороны клетки располагаются стационарные гидрозажимы. Гидрозажимами обеспечивается предварительное зажатие датчиков натяжения, что дает возможность замерять натяжения обоюбого знака при установке месдоз только с одной стороны клетки. Кассета с валками установлена на сферических головках нажимных винтов подъема кассеты. Под действием натяжения кассета прижимается (или отжимается) к месдозам натяжения. Погрешность замера натяжений данным методом составляет 1% от веса клетки, что вполне допустимо.

Проведено аналитическое исследование рационального выбора размеров опоры подушек в системе замера натяжений методом качающейся подушки.

Анализ известных методов замера натяжений на непрерывных станах показал, что практически ни один из них не применим на непрерывных станах с одним приводным валком, так как они в данном случае имеют низкую точность или же приводят к большим конструктивным и эксплуатационным трудностям.

УП. Метод замера натяжений на непрерывных станах с одним приводным валком

В главе УП излагается принципиально новый способ измерения натяжения полосы на клетях с одним приводным валком посредством замера соотношения угловых скоростей холостого и приводного валков. Дано теоретическое обоснование и оценка точности данного способа замера натяжений. На предложенный метод замера натяжений получено авторское свидетельство (# 179725).

Показано, что влияние момента сил сопротивления вращению холостого валка на процесс прокатки с одним приводным валком аналогично влиянию заднего натяжения.

Предложен способ прокатки с натяжением в клетях непрерывных станов с одним приводным валком, отличающийся тем, что с целью ограничения наибольшего натяжения изменяют величину сил сопротивления вращению холостого валка, например, якорь разгонного двигателя холостого валка после захвата металла валками переключают на сопротивление, регулированием величины которого устанавливают верхний предел натяжения.

Часть III

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

УШ. Экспериментальное исследование черновой группы непрерывного стана 300

Черновая группа непрерывного мелкосортного стана 300 Челябинского металлургического завода состоит из окатино -

ломателя, пяти клетей с горизонтальными валками и клетки с вертикальными валками, расположенной между третьей и четвертой клетями. Привод клетей индивидуальный. Исследование периодичности импульсов датчиков натяжения проводилось на второй и третьей горизонтальных клетях, а комплексное исследование процесса непрерывной прокатки проводили на всех клетях черновой группы стана. В процессе исследования замерялись натяжения и давления на всех пяти горизонтальных клетях, опережение на второй клетке, крутящие моменты непосредственно на шпинделях второй и третьей клетей, токи и скорости прокатных двигателей всех клетей; неравномерность вращения рабочих валков фотоимпульсными и инерционными датчиками, эксцентricность расточки валков и изменение высоты калибра с помощью датчика перемещения на третьей горизонтальной клетке.

Замер натяжений полосы производился с помощью метода качающейся подушки, для чего были изготовлены специальные роликовые опоры, которые устанавливались на нижние нажимные винты под подушки.

При проведении комплексного исследования черновой группы ставилась задача проверки надежности метода качающейся подушки для замера натяжений на нескольких клетях одновременно, работоспособности магнитоупругих меридоз давления и натяжения конструкции Мауралмашзавода, стабильности технологических параметров процесса непрерывной прокатки.

Результаты экспериментального исследования периодич-

ности импульса датчиков натяжения показали, что неравномерность угловой скорости рабочих валков не может являться причиной появления периодических горизонтальных нагрузок на датчики натяжения. Периодические нагрузки на датчики натяжения определяются конструктивными особенностями главной линии рабочих клетей и, в частности, основная гармоника колебания импульса вызывается несоосностью валов шпинделя и шпиндельной втулки и эксцентricностью рабочих валков.

Из экспериментальных данных видно, что процесс прокатки на стане протекает достаточно стабильно. Отклонение технологических параметров и неравномерность распределения моментов между валками не превышает 10%.

Экспериментально подтверждена работоспособность метода замера натяжений с помощью качающейся подушки.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований даны рекомендации к проектированию системы измерения натяжений на непрерывных крупносортовых станах.

IX. Экспериментальное исследование прокатки с одним приводным валком

Экспериментальное исследование кинематических и силовых параметров прокатки с одним приводным валком и с пробуксовкой полосы относительно приводного валка проводилось на лабораторном стане 180 Челябинского политехнического института.

В главе описана методика и аппаратура экспериментального исследования прокатки с одним приводным валком и с про-

буксовкой.

В результате экспериментов определены и построены графики зависимости полного и удельного давления прокатки, момента, удельных сил трения на контактной поверхности полосы и валков, опережения, вытяжки, соотношения угловых скоростей холостого и приводного валков, геометрических размеров прокатываемого профиля от натяжения и степени пробуксовки полосы относительно приводного валка. Результаты экспериментов подтверждают выводы, полученные при теоретическом анализе. Отклонение опытных и расчетных данных не превышает 10%.

Из экспериментальных данных видно, что с увеличением степени пробуксовки растет момент прокатки, величина заднего натяжения, касательные силы трения, вытяжка полосы, увеличивается утяжка профиля, падает давление прокатки. Процесс прокатки с пробуксовкой возможен, но не целесообразен.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Экспериментально исследовано изменение текущей площади поперечного сечения вдоль очага деформации при прокатке в квадратных и ромбических калибрах.

2. Получена формула для расчета мощности формоизменения при прокатке в системе калибров ромб-ромб (ромб-квадрат).

3. На основе энергетической теории взаимодействия плоскости и валков выведены основные закономерности непрерывной прокатки в квадратных и ромбических калибрах.

4. Теоретически и экспериментально исследованы основные закономерности прокатки с одним приводным валком на гладкой бочке и в системе калибров овал-овал (овал-круг).

5. На основе аналитического исследования получены алгоритмы процесса непрерывной прокатки на сортовых станах (основное физическое уравнение и уравнение деформации).

6. Проведено теоретическое исследование процесса непрерывной прокатки в установившихся режимах применительно к крупносортовым станам.

Полученные в работе результаты позволяют определить основные технологические параметры системы автоматического регулирования работы крупносортового стана (основные факторы регулирования, точность регулирования, диапазон регулирования, жесткость механической характеристики двигателей и т.д.).

7. Разработаны принципиальные основы системы автомати-

ческого регулирования непрерывных сортовых станов в функции натяжения полосы между клетями с применением вычислительного устройства.

8. Проведены производственные испытания магнитоупругого датчика натяжения.

9. Приведен анализ существующих методов измерения натяжений.

10. Предложен метод замера натяжений на вертикальных клетях конструкции Южуралмашзавода с помощью качающейся клетки и использованием гидрозажимов.

11. Предложен метод замера натяжений на непрерывных станах с одним приводным валком через соотношение угловых скоростей холостого и приводного валков.

12. Предложен способ прокатки с натяжением в клетях непрерывных станов с одним приводным валком.

13. Проведено исследование черновой группы непрерывного мелкосортного стана 300.

14. Экспериментальные исследования прокатки с пробуксовкой полосы относительно приводного валка показали возможность протекания данного процесса.

Результаты работы частично использованы при создании системы автоматического регулирования скоростного режима валков непрерывно-заготовочного стана 900/700/500, другие же используются при разработке контроля режима натяжений на непрерывном проволочном стане 250.

Материалы диссертации докладывались автором:

1. На второй научно-производственной конференции "Достижения науки - производству", Челябинск, апрель, 1964.

2. На первой научно-технической конференции молодых исследователей черной металлургии, Днепропетровск, ноябрь, 1964.

3. На четвертой научно-технической конференции молодых специалистов, Москва, ВНИИМЕТМАШ, апрель, 1965.

4. На научном семинаре "Исследование и модернизация электрооборудования прокатных станов - резерв повышения производительности", Челябинск, ноябрь, 1965.

5. На XV, XVI, XVII, XVIII, XIX научно-технических конференциях Челябинского политехнического института, 1962-66 гг.

6. На научных семинарах кафедры прокатки Челябинского политехнического института.

Основное содержание диссертации опубликовано
в работах:

1. В.Н.ВЫДРИН, П.Н.АМОСОВ, А.С.ФЕДОСИЕНКО, В.И.КРАЙНОВ. Измерение неравномерности угловой скорости прокатных валков, Измерительная техника, 1964, № II.

2. В.Н.ВЫДРИН, В.И.КРАЙНОВ. Метод и конструктивное решение замера натяжений на вертикальных клетях конструкции ЮМЗ, Удостоверение о регистрации Госкомитета по делам изобретений и открытий СССР, № 42219, 1964.

3. В.Н.ВЫДРИН, В.И.КРАЙНОВ. Способ прокатки на станах с одним приводным валком, Удостоверение о регистрации Госкомитета по делам изобретений и открытий СССР, № 51056, 1965.

4. В.Н.ВЫДРИН, В.И.КРАЙНОВ. Исследование процесса непрерывной прокатки крупных сечений, Известия высших учебных заведений, Черная металлургия, 1965, № 5.

5. М.Я.БРОВМАН, В.Н.ВЫДРИН, Ф.К.ЕРМОХИН, В.А.КИСЛОК, В.И.КРАЙНОВ, А.Н.СЕРЕБРЯКОВ, Б.Э.ШЕЙДЕР. Метод контроля натяжений в непрерывных прокатных станах, Сталь, 1965, № 7.

6. В.Н.ВЫДРИН, В.И.КРАЙНОВ. Основные закономерности непрерывной прокатки в системе калибров ромб-квадрат, Известия высших учебных заведений, Черная металлургия, 1966, № 2.

7. В.Н.ВЫДРИН, В.И.КРАЙНОВ. Влияние жесткости механических характеристик двигателей на режим работы непрерывно-

го заготовочного стана, Труды семинара "Исследование и модернизация электрооборудования прокатных станков - резерв повышения производительности", Челябинск, 1966.

8. В.Н.ВЫДРИН, В.И.КРАЙНОВ. Способ определения натяжения полосы в клетях непрерывных прокатных станков, Авторское свидетельство № 179725, Госкомитет по делам изобретений и открытий СССР, 1966.

9. В.Н.ВЫДРИН, В.И.КРАЙНОВ. Прокатка в валках неравного диаметра с одним приводным валком, Известия высших учебных заведений, Черная металлургия, 1966, № 6.

Отпечатано на ротапринтере ЧМ. Заказ № 140 Тираж 150. **ФБ 10656**