

М 430090

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

ЖУРАВЛЕВ ИГОРЬ БОРИСОВИЧ

РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК
В ОПОРНЫХ УЗЛАХ РАБОЧИХ ВАЛКОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

(Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки
давлением)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва-1985

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана и Всесоюзном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте металлургического машиностроения.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
БОРИСОВ В.И.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
БОЧАРОВ Ю.А.,
кандидат технических наук
КЛАССЕН Э.Я.

Ведущее предприятие - Новокраматорский машиностроитель-
ный завод

Защита состоится "18" марта 1985 г. в 14³⁰ час.
на заседании специализированного Совета К 053.15.13 в Мос-
ковском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5. Ваш отзыв в 1-м
экземпляре, заверенный печатью, просим высылать по указанному
адресу.

С
им. Н.Э.
Аг

ВТУ

У

1 Г.С.

Типог
Подпи

96654.

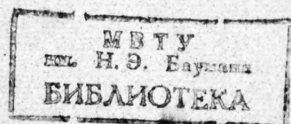
14430090

Актуальность проблемы. В числе важнейших задач, поставленных XXVI съездом КПСС перед металлургами и машиностроителями, одно из первых мест занимает повышение эффективности производства на основе его всеобщей интенсификации, создания и внедрения машин и агрегатов большой единичной мощности и производительности. В современном горячем листопрокатном производстве интенсификация технологических режимов и связанное с ней увеличение массы подката, абсолютных обжатий и скорости прокатки влекут за собой рост динамических нагрузок в рабочих клетях.

Практика эксплуатации четырехвалковых клетей листовых станов горячей прокатки показала, что при захвате металла в результате колебательного движения рабочих валков происходит динамическое нагружение их опорных узлов. Это вызывает быстрый износ боковых поверхностей опорных проемов станин и подушек, а также частые поломки элементов осевой фиксации валков, что приводит к значительному расходу запасных частей, аварийным отказам и внеплановым простоям станков.

В связи с этой актуальной задачей, стоящей при проектировании новых и эксплуатации действующих листовых станов горячей прокатки, является создание рациональных устройств и изыскание способов, позволяющих существенно повысить работоспособность опорных узлов рабочих валков за счет эффективного снижения в них динамических нагрузок. Для решения этой задачи возникает необходимость изучения процесса формирования динамических нагрузок. Известные методики определения параметров силового нагружения валковых систем клетей кварто не учитывают движение рабочего валка в поле зрения его опорных узлов, что не позволяет определить динамические нагрузки и учесть их при расчете. Это является одной из основных причин сдерживающих широкое внедрение на действующих станах известных устройств, а также поиск новых решений для снижения динамических нагрузок в опорных узлах рабочих валков.

Цель работы. Разработка на основе теоретического и экспериментального исследований практических рекомендаций и рациональных конструкций устройств, обеспечивающих повышение работоспособности опорных узлов рабочих валков за счет снижения динамических нагрузок.



Научная новизна. Разработана математическая модель движения узла рабочего вала и процесса формирования динамических нагрузок в его опорах. Выявлены основные зависимости процесса формирования динамических нагрузок в четырехвалковых клетях листовых станов горячей прокатки от конструктивных параметров рабочей клетки и трансмиссии, а также технологических параметров процесса прокатки.

Практическая ценность. На основе исследования разработаны практические рекомендации по снижению динамических нагрузок в четырехвалковых клетях путем установки рабочих валков с рациональным смещением относительно опорных и за счет статического нагружения валковой системы в период захвата металла. Разработана новая конструкция устройства прижатия подушек рабочего вала к боковым поверхностям опорных проемов клетки, позволяющая снизить динамические нагрузки.

Устройство признано изобретением.

Реализация работы. Разработанные рекомендации были реализованы в виде новых конструкций устройств опорных узлов рабочих валков и внедрены в черновых клетях на непрерывном широкополосовом стане (НШС) 2000 горячей прокатки Ново-Липецкого металлургического комбината им. Ю.В. Андропова.

В клетки № 4 этого стана введены в эксплуатацию опорные узлы, реализующие способ установки рабочих валков со смещением относительно опорных против направления прокатки, а в клетки № 3 — с использованием предварительного прижатия подушек рабочих валков к стойкам в направлении прокатки совместно со смещением относительно опорных валков в этом же направлении. Внедрение результатов исследований на стане 2000 позволило повысить долговечность направляющих планок опорных проемов станин и подушек рабочих валков за счет снижения динамических нагрузок и уменьшить расход запасных частей. Экономический эффект от внедрения на Ново-Липецком металлургическом комбинате около 350 тыс. рублей в год.

Выводы и рекомендации работы использованы ВНИИМЕТМАШем при решении вопроса конструктивного выполнения рабочих клеток вновь проектируемого непрерывного широкополосового стана 2500 горячей прокатки для Ново-Липецкого металлургического комбината.

Апробация работы. По основным разделам работы сделаны доклад на научном семинаре "Опыт разработок и внедрения АСУ ТП

толстолистовых прокатных станов", Киев, 1981 г., доклад на научно-технической конференции "Проблемы качества и совершенствования оборудования тяжелого, энергетического транспортного и химического машиностроения", Свердловск, 1982 г., два доклада на научных семинарах кафедры "Автоматизированные металлургические машины и агрегаты", МВТУ им. Н.Э. Баумана (1982 и 1984 гг.) и сообщение на секции НТС ВНИИМЕТМАШ (1984 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 статьи.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Она изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков, 4 таблицы, список литературы из 56 наименований, 27 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы исследования процесса формирования в опорных узлах рабочих валков динамических нагрузок и разработки мероприятий по их снижению. Сформулированы цель работы, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное состояние проблемы работоспособности опорных узлов рабочих валков четырехвалковых клетей листовых станов горячей прокатки и их динамического нагружения при захвате металла.

Практика эксплуатации четырехвалковых клетей современных листовых станов горячей прокатки выявила недостаточную работоспособность элементов опорных узлов рабочих валков, которая выражается в быстром износе сопрягаемых боковых поверхностей стоек и подушек, а также в частом разрушении средств осевой фиксации, что объясняется действием высоких динамических нагрузок, формируемых при захвате металла.

Большое многообразие известных конструкций устройств для снижения динамических нагрузок в опорных узлах рабочих валков реализует два основных способа:

- самоустановка рабочего вала относительно опорного без перекоса;
- выборка боковых зазоров в сопряжениях подушек со стойками, образующими опорные проемы.

Однако, ввиду недостаточной работоспособности, сложности настройки и эксплуатации до сих пор ни одно из известных устройств не нашло широкого применения в листовых станах горячей прокатки. Поэтому совершенствование существующих и поиск новых конструкций устройств является перспективным направлением для снижения динамических нагрузок в опорных узлах рабочих валков.

Для успешного решения этого вопроса необходимо теоретическое исследование процесса формирования динамического нагружения валковой системы клетки при захвате металла.

Классическая теория определения усилий, действующих на валки станов кварто создана А.И.Целиковым. Положения и выводы, разработанные в данной теории, способствовали дальнейшему исследованию силового нагружения валковых систем, в том числе при переходных режимах прокатки. Большой вклад в изучение этого вопроса внесли Кожевников С.Н., Комарз А.Н., Филатов А.А., Гарцман С.Д., Сафронов К.К. и другие. Вместе с тем проблема формирования динамических нагрузок в опорных узлах рабочих валков при захвате металла пока изучена недостаточно, так как известные методики не учитывают движение узла рабочего валка в поле зазоров опорных проемов станин и системы осевой фиксации, которое наблюдается на практике. Указанное обстоятельство не позволяет оценить влияние конструктивных и технологических параметров на динамические нагрузки в опорных узлах рабочих валков, а также затрудняет разработку и внедрение устройств для снижения этих нагрузок. Очевидно, что для решения этого вопроса необходимо теоретическое и экспериментальное исследование процесса формирования динамических нагрузок в опорных узлах рабочих валков.

Таким образом, задачами данного исследования являются:

- разработка математической модели движения узла рабочего валка и процесса формирования динамических нагрузок в его опорах при захвате металла, позволяющей в отличие от существующих моделей включить в рассмотрение движение рабочего валка с подушками в поле зазоров опорных проемов и системы осевой фиксации с учетом влияния сил инерции;
- теоретическое и экспериментальное исследование характера движения узла рабочего валка и процесса формирования динамических нагрузок в его опорах на основе разработанной математической модели;

- экспериментальное исследование характера движения узла рабочего вала и процесса формирования динамических нагрузок в его опорах;
- разработка и внедрение практических рекомендаций по снижению динамических нагрузок в опорных узлах рабочих валков;
- экспериментальная проверка эффективности предложенных решений.

Во второй главе разработана математическая модель движения узла рабочего вала и процесса формирования динамических нагрузок в его опорах.

Исследование динамических нагрузок в опорных узлах рабочего вала сведено к совместному решению задач динамики систем "привод - рабочая клет" и рабочего вала с подушками при взаимодействии с спорным валком, элементами осевой фиксации и стойками.

Задача динамики системы "привод - рабочая клет" рассматривалась с учетом вращения масс привода и валков, а также вертикальной деформации клетки на основе расчетной схемы с 5-ю степенями свободы (рис. I).

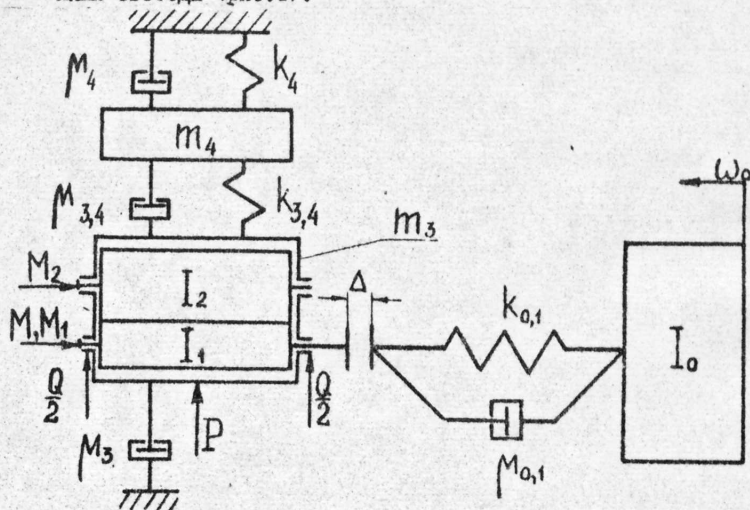


Рис. I. Расчетная схема системы "привод - рабочая клет"

При этом принималось следующее:

- зазоры на верхнем и нижнем шпинделях равны между собой;
- моменты прокатки на верхнем и нижнем рабочих валках одинаковы;
- деформация верхней и нижней половин рабочей клетки относительно плоскости прокатки симметрична.

Система "привод - рабочая клетка" нагружена усилием P и моментом M прокатки, силой Q учитывающей уравнивание, противоизгиб и вес рабочего вала с подушками, а также моментами M_1, M_2 трения в подшипниках рабочего и опорного валков.

Упругий момент, формируемый на шпиндельном участке линии привода, выражен в виде функции разности углов поворота масс I_1 рабочего вала и I_0 привода с учетом раскрытия углового зазора Δ :

$$M_{упр} = \begin{cases} 0 & \text{при } |\omega_0 t - \varphi_1| \leq \Delta \\ -k_{0,1}(\varphi_1 - \omega_0 t) - M_{0,1}(\varphi_1 - \omega_0) & \text{при } |\omega_0 t - \varphi_1| > \Delta \end{cases} \quad (I)$$

- где $k_{0,1}$ и $M_{0,1}$ - приведенная жесткость и коэффициент вязкого сопротивления упругой связи шпиндельного участка трансмиссии;
- $\varphi_1, \dot{\varphi}_1$ - угол поворота и угловая скорость вращения рабочего вала;
- ω_0 - угловая скорость вращения приведенной массы линии привода;
- t - время.

Задачу динамики узла рабочего вала при взаимодействии с опорным валком, элементами осевой фиксации и стойками решаем с помощью расчетной схемы (рис.2), на которой рабочий и опорный валки представлены как твердые тела.

Учитывая, что при захвате металла положение опорного вала в клетке значительно более устойчиво по сравнению с положением узла рабочего вала, рассматриваем опорный валок как твердое тело с одной степенью свободы (вращение вокруг собственной оси), а узел рабочего вала - как твердое тело с четырьмя степенями свободы. При этом помимо вращения вокруг собственной оси рабочий валок вместе с подушками совершает движение, при котором его ось всегда параллельна общей касательной плоскости к контактным поверхностям бочек рабочего и опорного валков.

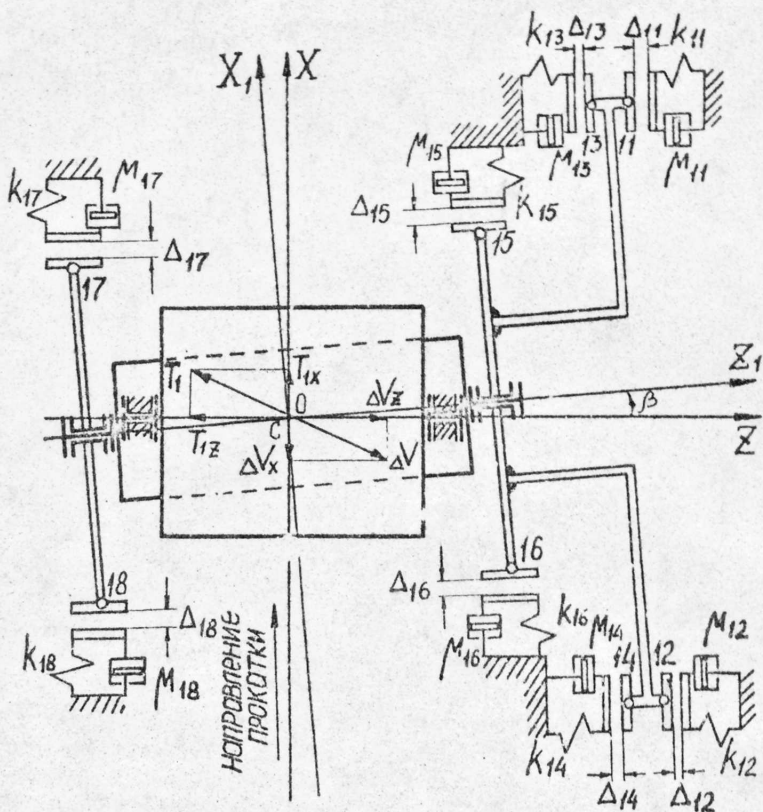


Рис.2. Расчетная схема узла рабочего валька

В соответствии с расчетной схемой положение системы OX_1Z_1 , связанной с узлом рабочего валька, относительно неподвижной системы OXZ определяется текущим углом β перекоса рабочего валька относительно опорного и координатами x_c и z_c центра масс C в системе OXZ .

Тогда координаты i -й точки узла рабочего валька в системе OXZ .

$$x^{(i)} = x_i^{(i)} \cos \beta + z_i \sin \beta + x_c, \quad (2)$$

$$z^{(i)} = -x_i^{(i)} \sin \beta + z_i \cos \beta + z_c,$$

а скорости их изменения во времени

$$\dot{x}^{(i)} = -x_1^{(i)} \dot{\beta} \sin \beta + z_1^{(i)} \dot{\beta} \cos \beta + \dot{x}_c; \quad (3)$$

$$\dot{z}^{(i)} = -x_1^{(i)} \dot{\beta} \cos \beta - z_1^{(i)} \dot{\beta} \sin \beta + \dot{z}_c.$$

Узел рабочего вала нагружен усилием P и моментом M прокатки, силой уравнивания Q , а также силами взаимодействия с опорным валком N_1, T_1 и другими элементами клетки $P_x^{(i)}, P_z^{(i)}$.

Составляющие силы $P+Q$ на направления параллельное и перпендикулярное общей касательной плоскости к поверхностям бочек рабочего и опорного валков (плоскости движения узла рабочего вала) соответственно равны:

$$F = (P+Q) \sin \gamma; \quad (4)$$

$$S = (P+Q) \cos \gamma, \quad (5)$$

где $\gamma = \arcsin \frac{e}{R_1 + R_2},$

e — смещение (свал) рабочих валков относительно опорных валков вдоль оси прокатки (положительное — в направлении прокатки, отрицательное — против направления прокатки);

R_1 и R_2 — радиусы бочек рабочего и опорного валков.

Для конкретизации силового взаимодействия при соударениях подушек рабочего вала со станинами и осевыми фиксаторами используем модель упруго-вязкого взаимодействия Кельвина-Фохта. При этом соблюдается условие ограниченности взаимных перемещений и учитывается рассеяние энергии. На расчетной схеме (рис.2) указанные взаимодействия рассматриваются с помощью упруго-вязких элементов (УВЭ) с коэффициентами жесткости k_i и вязкого сопротивления m_i . Индекс i соответствует номеру точки узла рабочего вала, в которой происходит взаимодействие.

Осевые усилия взаимодействия упорных заплечиков фиксируемой подушки с планками осевых фиксаторов ($i = 11, 12$) и с торцевыми поверхностями стоек ($i = 13, 14$)

$$P_z^{(i)} = k_i \Delta z^{(i)} + m_i \Delta \dot{z}^{(i)}, \quad (6)$$

а радиальные усилия взаимодействия подушек с боковыми поверхностями стоек

$$P_x^{(i)} = k_i \Delta x^{(i)} + m_i \Delta \dot{x}^{(i)}, \quad (7)$$

где $\Delta z^{(i)}, \Delta x^{(i)}$ и $\Delta \dot{z}^{(i)}, \Delta \dot{x}^{(i)}$ — деформации и скорости деформаций i -х УВЭ в осевом и радиальном направлениях.

Деформации упруго-вязких элементов определяются из рассмотрения перемещений l -х точек узла рабочего валька в поле зазоров Δl и выражены через параметры $\chi^{(i)}, z^{(i)}, \Delta l, e, R_1$ и R_2 .

При определении силы T_1 фрикционного взаимодействия рабочего и опорного валков, которая пропорциональна силе N_1 их нормального взаимодействия, коэффициент трения f находим в зависимости от скорости ΔV относительного движения рабочего и опорного валков, приняв за основу теорию предварительного смещения. Окружная $T_{1\chi}$ и осевая T_{1z} составляющие силы трения пропорциональны соответствующим составляющим скорости ΔV , которые равны:

$$\begin{aligned}\Delta V_{\chi} &= -(\dot{\psi}_1 R_1 \cos \beta - \dot{\psi}_2 R_2) + \dot{\chi}_c - z_c \dot{\beta} ; \\ \Delta V_z &= \dot{\psi}_1 R_1 \dot{\beta} + \dot{z}_c + z_c \dot{\beta} \dot{\beta} ,\end{aligned}\quad (8)$$

где $\dot{\psi}_2$ - угловая скорость вращения опорного валька.

Суммарный момент сил взаимодействия узла рабочего валька с опорным и элементами клетки относительно центра масс C

$$M_{\Sigma} = T_{1\chi}(z_A - z_c) - T_{1z}(\chi_A - \chi_c) - \sum_{i=15}^{18} P_{\chi}^{(i)}(z - z_c) - \sum_{i=11}^{14} P_z^{(i)}(\chi^{(i)} - \chi_c), \quad (9)$$

где χ_A, z_A - координаты точки A приложения равнодействующей сил взаимодействия рабочего и опорного валков.

Уравнения движения системы "привод - рабочая клеть" и узла рабочего валька имеют вид:

$$\left. \begin{aligned}I_1 \ddot{\psi}_1 &= M_{\text{впр}} - 2(T_{1\chi} \cos \beta - T_{1z} \beta) R_1 - M - M_1 ; \\ I_2 \ddot{\psi}_2 &= 2 T_{2\chi} R_2 - M_2 ; \\ m_3 \ddot{y}_3 &= k_{3,4}(y_4 - y_3) + m_{3,4}(\ddot{y}_4 - \ddot{y}_3) - m_3 \ddot{y}_3 + P + Q ; \\ m_4 \ddot{y}_4 &= -k_{3,4}(y_4 - y_3) - k_4 y_4 - m_{3,4}(\ddot{y}_4 - \ddot{y}_3) - m_4 \ddot{y}_4 ; \\ m_c \ddot{\chi}_c &= T_{1\chi} + \sum_{i=15}^{18} P_{\chi}^{(i)} + F ; \\ m_c \ddot{z}_c &= T_{1z} + \sum_{i=11}^{14} P_z^{(i)} ; \\ I_c \ddot{\beta} &= M_{\Sigma} ,\end{aligned}\right\} \quad (10)$$

- где U_3, U_4 — вертикальные перемещения приведенных масс m_3 и m_4 рабочей клетки;
- $k_{3,4}, k_4$ и $M_{3,4}, M_4$ — приведенные жесткости и коэффициенты вязкого сопротивления упругих звеньев рабочей клетки;
- μ_3 — коэффициент вязкого сопротивления прокатываемого металла;
- m_c и I_c — масса и главный центральный момент инерции узла рабочего вала.

Исследование процесса формирования динамических нагрузок в опорных узлах рабочих валков сводится к отысканию периодического решения системы уравнений (10). В результате могут быть получены кинематические и динамические параметры движения узла рабочего вала в период захвата металла.

В третьей главе приведены результаты исследования характера движения узла рабочего вала и процесса формирования динамических нагрузок в его опорах при захвате металла. Решение уравнений движения осуществлялось численным методом Рунге-Кутты на ЭВМ ЕС10-22. Расчеты были выполнены применительно к черновым клетям НПС 2000 горячей прокатки НЛМК.

В результате были получены периодические функции изменения параметров движения и силового нагружения узла рабочего вала в процессе захвата металла.

Анализ результатов расчетов показал следующее. При захвате металла узел рабочего вала совершает колебательное движение вдоль оси прокатки под действием переменной по направлению скружной силы трения T_{1x} . Смена направления действия силы T_{1x} связана с периодическим изменением соотношения между крутящим моментом и моментом сил сопротивления вращений рабочего вала, а также различными значениями моментов инерции рабочего и опорного валков.

При выполнении неравенства

$$M_{\text{упр}} < M + (T_{1x} \cos \beta - T_{1z} \beta) R_1 + M_1, \quad (II)$$

окружная сила T_{1x} направлена против хода прокатки и вызывает в этом же направлении ускоренное движение узла рабочего вала. При выполнении неравенства

$$M_{\text{упр}} > M + (T_{1x} \cos \beta - T_{1z} \beta) R_1 + M_1, \quad (I2)$$

направление силы T_{1x} вновь совпадает с направлением прокатки и движение узла рабочего вала происходит в сторону выхода металла из клетки.

Возвратно-поступательное движение вала вдоль оси прокатки продолжается до тех пор пока не затухнут вследствие демпфирования колебания упругого момента в линии привода.

В ходе этого движения при закрытии боковых зазоров между подушками и стойками в опорных узлах рабочего вала формируются радиальные динамические нагрузки, которые приводят к интенсивному износу боковых поверхностей подушек и выработке опорных проемов станин. Поскольку на практике выработка опорных проемов на сторонах привода и перевалки происходит неодинаково, то колебательное движение узла рабочего вала вдоль оси прокатки происходит в поле несимметричных боковых зазоров и сопровождается поворотом в горизонтальной плоскости. В результате в ударное взаимодействие с торцевыми поверхностями стоек или с планками осевых фиксаторов вступают упорные заплечики фиксируемой подушки. Формируемые при этом осевые динамические нагрузки вызывают разрушение элементов осевой фиксации и снижают долговечность подшипников.

Количественная оценка радиальных и осевых динамических нагрузок производилась по их импульсам.

Достоверность результатов теоретического исследования была проверена экспериментально.

Поставленный в соответствии с разработанной методикой эксперимент был проведен в промышленных условиях на НШС 2000 ГП НЛМК в клетке № 4 черновой группы. В ходе эксперимента с помощью специально изготовленных тензобалочек проводились замеры перемещений подушек рабочего вала вдоль оси прокатки и в осевом направлении при захвате металла. Параллельно измерялись упругий момент на верхнем шпинделе и деформация стойки станины.

Обработка результатов замеров, которая включала определение и приведение кинематических параметров узла рабочего вала к центру его масс, позволила экспериментально установить характер его движения при захвате металла, а также численно оценить импульсы динамических усилий, формируемых при ударных взаимодействиях с элементами клетки.

Сопоставление экспериментальных и теоретических значений параметров движения и динамического нагружения узла рабочего вала показало их хорошую сходимость и подтвердило основные выводы теоретического исследования, полученные на основе математической модели. Это позволило, используя модель и программу расчета на ЭВМ, изучить влияние ряда конструктивных и технологических параметров на динамические нагрузки в опорных узлах рабочих валков, а также разработать и исследовать мероприятия по их снижению.

В соответствии с методикой теоретического исследования с помощью модели было изучено влияние на динамику узла рабочего вала угловых зазоров в линии привода и скорости прокатки. Анализ расчетов показал, что рост углового зазора от нуля до 0,02 рад вызывает увеличение ударных импульсов в 1,35 + 1,8 раза. А изменение скорости прокатки от 1,5 до 4 м/с увеличивает импульсы ударных взаимодействий в 1,3 + 1,5 раза. Такой характер изменений ударных импульсов объясняется ростом максимального значения силы T_{1x} , вызывающей ускоренное движение узла рабочего вала в поле зазоров опорных проемов.

При проведении теоретического исследования особое внимание было уделено влиянию на процесс формирования динамических нагрузок смещения рабочих валков относительно опорных вдоль оси прокатки, поскольку этой величиной сравнительно легко варьировать на существующих станах.

Установлено, что с ростом свала как в положительную, так и в отрицательную сторону происходит снижение радиальных и осевых ударных импульсов, причем, снижение ударных импульсов при различных угловых зазорах в приводе происходит по-разному. Так независимо от числового значения усилия прокатки P при угловом зазоре 0,02 рад импульсы снижаются до нуля при $e = +80$ мм. При 0,01 рад аналогичное снижение происходит при свалах -60 и $+80$ мм, а при 0,005 рад при свале равном -40 и $+80$ мм. Поэтому с целью снижения динамических нагрузок в опорных узлах рабочих валков целесообразно в совокупности с мероприятиями по минимизации угловых зазоров в приводе устанавливать рабочие валки со смещением против направления прокатки.

Снижение динамических нагрузок способом установки рабочих валков с радиальным смещением относительно опорных позволило уменьшить разницу в выработке опорных проемов станин на сторонах привода и перевадки и, следовательно, ограничить развитие перекоса валков. Это, в свою очередь, повысит долговечность подшипников в фиксируемых опорах рабочего валка за счет снижения осевых статических нагрузок.

Как показало исследование, увеличение радиальных статических нагрузок на подшипники рабочего валка при его смещении относительно опорного валка более 50 мм является нежелательным. В связи с этим в данной работе был проведен анализ действия на процесс формирования динамических нагрузок устройств предварительного прижатия подушек к боковым поверхностям стоек, так как усилия, создаваемые этими устройствами не передаются на подшипники. Установлено, что для снижения динамических нагрузок целесообразно совместное применение положительного смещения рабочих валков и прижимных устройств, создающих минимально необходимое усилие прижатия подушек к стойкам по ходу прокатки.

В результате теоретического исследования также было выявлено, что кратковременное увеличение давления в гидросистеме механизма уравнивания (противоизгиба) рабочего валка в период захвата металла позволяет добиться снижения динамических нагрузок до минимального уровня положительным свалом с меньшим числовым значением.

В четвертой главе приведены результаты промышленного опробования способа установки рабочих валков со смещением относительно опорных валков против направления прокатки на 45 мм в клетях № 4 черновой группы НЛС 2000 горячей прокатки НЛМК.

С целью оценки эффективности предложенного способа было выполнено экспериментальное исследование, которое показало, что при захвате металла колебательное движение рабочих валков в поле зазоров опорных проемов отсутствует, а динамические нагрузки в их опорных узлах снижаются до уровня статических.

В работе также описана новая конструкция устройства, позволяющего осуществить прижатие подушек рабочего валка к стойкам с целью снижения динамических нагрузок при захвате металла.

Известные конструкции прижимных устройств с упругими элементами, как правило, не могут постоянно обеспечивать минимально необходимое усилие прижатия подушек к стойкам, теряя работоспособность при незначительном износе (1...2 мм), направляющих планок.

В новой конструкции указанный недостаток устранен использованием упругого элемента в виде пакета поставленных на ребро плоских пластин, предварительно сформированных до состояния потери продольной устойчивости под действием минимально необходимого усилия поджатия подушки рабочего вала к стойке. На конструкцию прижимного устройства опорного узла рабочего вала получено положительное решение по заявке на изобретение.

Внедрение способа установки рабочих валков со смещением — относительно опорных против направления прокатки, а также устройств прижатия подушек к стойкам по ходу прокатки на стане 2000 ГП ИЛМК позволило повысить долговечность элементов опорных узлов рабочих валков и уменьшить расход запасных частей примерно на 50%. Годовой экономический эффект в народном хозяйстве от внедрения составляет 346 тыс.рублей,

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель движения узла рабочего вала и процесса формирования динамических нагрузок в его опорах при захвате металла. Выявлены основные зависимости процесса формирования этих нагрузок в четырехвалковых клетях листовых станов горячей прокатки от конструктивных параметров рабочей клетки и трансмиссии, а также технологических параметров процесса прокатки.

2. Установлено, что динамические нагрузки в четырехвалковых клетях листовых станов горячей прокатки формируются в результате колебательного движения рабочих валков вдоль оси прокатки в поле зазоров опорных проемов станин. Колебательный характер движения вызван периодическим изменением соотношения между крутящим моментом и моментом сил сопротивления вращению рабочих валков при захвате металла, а также различными значениями моментов инерции рабочего и опорного валков.

3. Выявлено, что при увеличении смещения рабочих валков относительно опорных вдоль оси прокатки происходит снижение динамических нагрузок, причем, при свале против направления прокатки снижение нагрузок происходит более интенсивно. Аналогичный характер изменения нагрузок наблюдается при возрастании сил статического прижатия подушек рабочих валков к боковым поверхностям стоек.

Установлено, что при увеличении прижатия рабочего валка к опорному снижению динамических нагрузок до минимального уровня происходит при меньших значениях свала в направлении прокатки.

4. Теоретически обоснован, разработан и экспериментально проверен способ установки рабочих валков со смещением относительно опорных против направления прокатки для снижения динамических нагрузок.

5. Предложено осуществлять снижение динамических нагрузок в опорных узлах совместным использованием смещения рабочих валков в направлении прокатки и устройств прижатия их подушек к стойкам в этом же направлении.

6. Разработаны и внедрены в эксплуатацию в черновых клетях НШС 2000 ГП НЛМК опорные узлы, реализующие способ установки рабочих валков со смещением относительно опорных против направления прокатки на 45 мм, а также с использованием устройств с упругими элементами для прижатия подушек к стойкам станин в направлении прокатки.

7. Практическое внедрение способа установки валков с отрицательным свалом 45 мм позволило снизить динамические нагрузки в опорных узлах рабочих валков клеток черновой группы НШС 2000 горячей прокатки до уровня статических.

8. Экономический эффект от внедрения результатов работы составляет 346 тыс. рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Математическая модель динамики рабочей клетки листового стана /В.И.Борисов, Р.А.Яковлев, И.Б.Журавлев и др. - Проблемы качества и совершенствования оборудования тяжелого, энергетического, транспортного и химического машиностроения: Тез. докл. Обл. научн.-техн. конф. - Свердловск, 1982, с.17

2. Борисов В.И., Журавлев И.Б., Чуняев В.П. Определение параметров пружинно-массовой схемы валков листовых станов. - Известия ВУЗов. Машиностроение, 1984, № 1, с.122-126.
3. Филатов А.А., Журавлев И.Б., Гардман С.Д. Математическая модель формирования динамических осевых нагрузок в четырехвалковой прокатной валяти. - Труды /МВТУ, 1984, № 412, с.24-37.

Журавлев

