

УДК 621.771.01

к.т.н. Петров П. А.,
к.т.н. Ульяницкий В. Н.,
к.т.н. Балашова О. С.,
Орлов А. А.,
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ВАЛКОВОГО УЗЛА КЛЕТИ КВАРТО И СНИЖЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ РАЗНОТОЛЩИННОСТИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА

В статье рассмотрены основные параметры, обуславливающие качественные показатели производства листового металлопроката. Разработана математическая модель определения жёсткости рабочей клетки кварто с учётом системы противоизгиба рабочих валков, установлена степень влияния на поперечную разнотолщинность прокатываемого листа конструктивных и технологических параметров валковой системы.

Ключевые слова: клеть кварто, валковый узел, жёсткость клетки, поперечная разнотолщинность проката, шейка валка, подшипниковая опора.

Повышение конкурентоспособности продукции листовых станов горячей и холодной прокатки всегда актуально. Качество листов и полос определяется точностью их размеров и формы, химическим составом и физико-механическими свойствами стали, состоянием поверхности. Сортамент, требования к точности прокатки, плоскостности, характеру кромки листовой горячекатаной и холоднокатаной стали шириной 500 мм и более, изготавливаемой в листах и рулонах, регламентированы ГОСТ 19903-90 и 19904-90.

Точность полосы характеризуется отклонением геометрических размеров раската от номинала и включает в себя продольную и поперечную разнотолщинность, разноширинность, форму полосы в плане и неплоскостность [1, 2].

Разнотолщинность полосы в процессе прокатки формируется под воздействием дестабилизирующих факторов, к которым относятся: вариации силы и скорости прокатки, натяжения и начальных размеров раската, неконтролируемые изменения межвалкового зазора (биение валков, эффект подшипников жидкостного трения), износ и тепловое расширение валков. Имеют место факторы, стабилизирующие процесс прокатки: принудительный изгиб валков в вертикаль-

ной и горизонтальной плоскостях, контролируемые изменения скорости и силы прокатки, межвалкового зазора и натяжения.

Анализ работ [1–7] свидетельствует о тесной связи параметров точности прокатки с параметрами жёсткости элементов рабочей клетки, регулирующими воздействиями и режимами обжатий.

Существующие способы воздействия на активную образующую бочки прокатных валков достаточно разнообразны. Основными из них считаются [3, 4]: профилирование и оптимизация диаметра рабочих валков; применение систем автоматического регулирования толщины (САРТ) и профиля (САРП); использование усовершенствованных конструкций валковых узлов; установка систем силовой профилировки (противоизгиба) рабочих или опорных валков; тепловая профилировка образующей бочек рабочих валков. Наиболее эффективными способами влияния на межвалковый зазор в рабочих клетях широкополосных и листовых станов горячей прокатки являются гидравлический изгиб и осевая сдвигка рабочих валков.

В связи с этим возрастает актуальность задач рационального выбора и оптимизации параметров, влияющих на прогиб валковой

системы и жёсткость рабочей клетки, что требует дополнительных исследований и анализа существующих методик расчёта упругой деформации листопркатных клетей.

В ряде случаев повышение плоскостности прокатываемого листа, а также снижение упругой деформации клетки может достигаться путём задействования системы противоизгиба валков, как, например, в чистовой клетке кварто толстолистого стана 3000 Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис», оборудованной гидроблоками уравнивания и противоизгиба рабочих валков. Оценка способности клетки прокатывать лист с минимальными отклонениями по форме и размерам может быть получена в результате математического моделирования упругой деформации (вычисления модуля жёсткости) клетки с учётом действия сил противоизгиба рабочих валков.

Обзор известных методов [3–6] определения упругого сплющивания и деформации валков клетки кварто показал отсутствие чётких критериев по выбору величины силы противоизгиба Q_p и плеча её приложения c_p относительно оси опоры валка. В технической литературе силу Q_p предложено принимать как долю от силы прокатки P , но при этом рекомендованные значения силы противоизгиба изменяются в достаточно широком диапазоне от $(0,07...0,10)P$ [4] до $(0,2...0,3)P$ [2], что требует уточнения. Кроме того, следует учитывать, что действие дополнительных сил на опоры рабочего валка снижает надёжность и долговечность данного узла клетки.

Основу математической модели определения жёсткости клетки кварто, оборудованной системой противоизгиба рабочих валков, составили классические методики [3, 5, 6] и работа [7], посвящённая упругим деформациям многовалковых клетей, адаптированные для условий клетки кварто толстолистого стана горячей прокатки.

Модуль жёсткости клетки кварто определяется по формуле

$$M_{\text{ккл}} = P / f_{\text{ккл}}, \quad (1)$$

где $f_{\text{ккл}}$ — упругая деформация клетки, которая включает: прогиб валковой системы $f_{\text{в}}$, деформацию станины $f_{\text{ст}}$ и упругие перемещения остальных деталей $f_{\text{дет}}$ клетки (нажимных винтов и гаек $f_{\text{нв}}$, подушек валков $f_{\text{под}}$, подшипников $f_{\text{подш}}$, подпятников $f_{\text{подп}}$):

$$f_{\text{ккл}} = f_{\text{в}} + f_{\text{ст}} + f_{\text{нв}} + f_{\text{дет}}. \quad (2)$$

С учётом того, что прогиб валков может достигать 48 % от общей упругой деформации клетки кварто [5], важно контролировать суммарную упругую деформацию валковой системы в середине бочки валка (рис. 1):

$$f_{\text{в}} = 2(y_a + \delta_{\text{п-р}} + \delta_2 - y_{Q_p}), \quad (3)$$

где y_a — прогиб середины бочки опорного валка относительно линии опор, который состоит из прогиба от действия изгибающих моментов и прогиба от действия поперечных сил; $\delta_{\text{п-р}}$ — упругое сжатие рабочего валка в контакте с полосой; δ_2 — упругое сжатие рабочего и опорного валков; y_{Q_p} — прогиб рабочего валка от действия силы противоизгиба.

Поперечная разнотолщинность прокатываемого листа [7]:

$$\delta h = 2(y_a - y_b - y_{Q_p}), \quad (4)$$

где y_b — прогиб опорного валка по кромке полосы с учётом действия изгибающих моментов и поперечных сил.

Зависимости (1)–(4) положены в основу разработанной математической модели вычисления упругих деформаций клетки кварто.

Это позволило моделировать жёсткость чистовой клетки стана 3000 в зависимости от величины силы Q_p противоизгиба рабочих валков, изменяемой в диапазоне от $0,1P$ до $0,25P$ ($P=45$ МН), с целью анализа эффективности силовой профилировки валков при регулировании показателей точности прокатываемых листов.

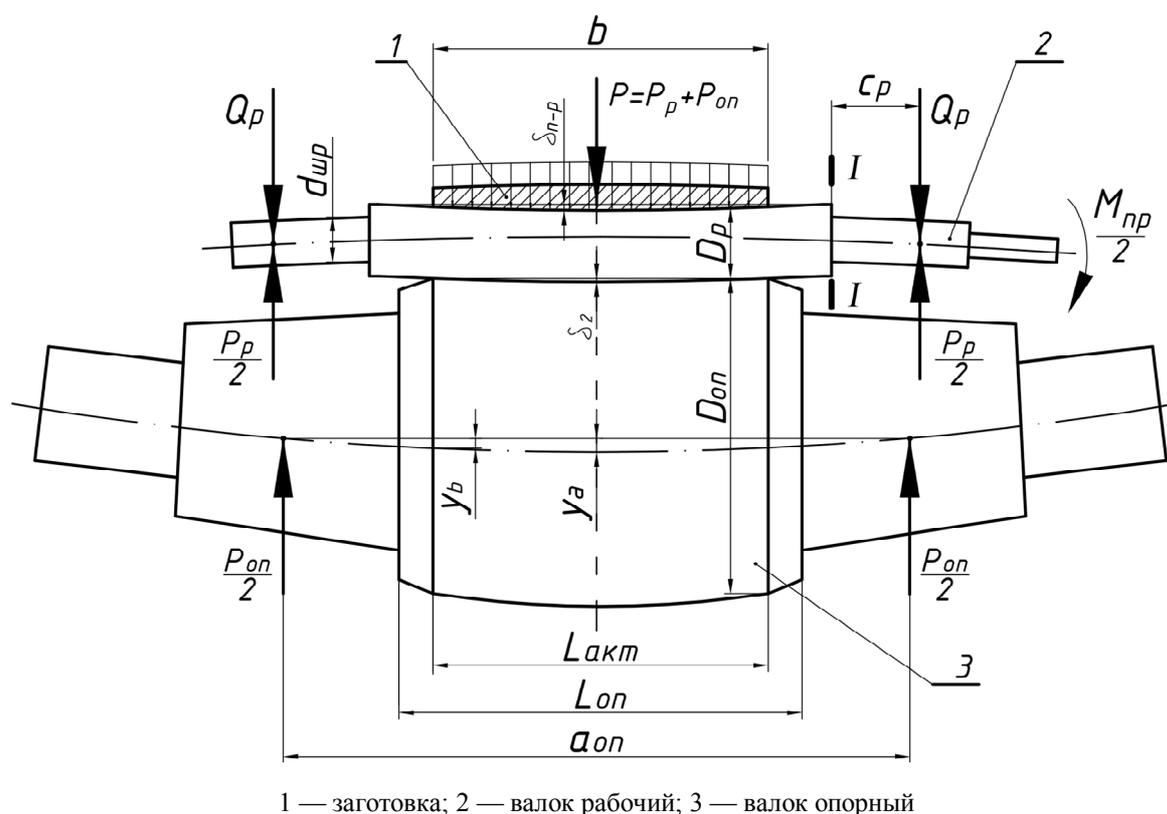


Рисунок 1 Схема к расчёту упругой деформации валков клетки кварто

В результате были получены теоретические распределения величины поперечной разнотолщинности δh в зависимости от силы Q_p противоизгиба рабочих валков (рис. 2).

Установлено, что с увеличением силы противоизгиба от 0 до $0,25P$ (11,25 МН) поперечная разнотолщинность снижается на 13,52 % (рис. 2).

В таблице 1 представлены сравнительные показатели жёсткости и упругой деформации элементов клеток кварто листопркатных станов (клетки 2800, 3200) и данные по клетке 3000, полученные в ходе расчёта при следующих исходных параметрах: сила $P=45$ МН и момент $M_{пр}=3$ МНм прокатки; $b=2900$ мм — ширина прокатываемой полосы; $a_{оп}=4100$ мм — расстояние между опорами; $L_{оп}=2800$ мм — ширина бочки опорного валка; $L_{акт}=2720$ мм — активная длина межвалкового контакта; $c_p=550$ мм — плечо приложения силы про-

тивоизгиба рабочего валка (варьировалось в диапазоне 550...710 мм); $D_{оп}$ — диаметр бочки опорного валка номинальный 1650 мм (минимальный — 1500 мм); D_p — диаметр бочки рабочего валка номинальный 900 мм (минимальный — 840 мм). Валок опорный кованный из стали 75Х2МФ, твёрдость бочки 55...62 HSD; валок рабочий литой из чугуна ЛПХНд-63 с рабочим отбеленным слоем, твёрдость бочки 63...70 HSD.

Максимальное перемещение элементов клетки кварто в середине бочки валка составило $f_{кл}=5,024$ мм. Модуль жёсткости чистой клетки стана 3000 равен $M_{кл}=8,957$ МН/мм, что является наилучшим показателем среди сравниваемых клеток (см. табл. 1).

Однако силы противоизгиба увеличивают нагрузку на узел опор рабочего валка, действие которых отрицательно сказывается на долговечности подшипников и прочности шеек рабочих валков, что требует усовершенствования конструкции валковой системы.

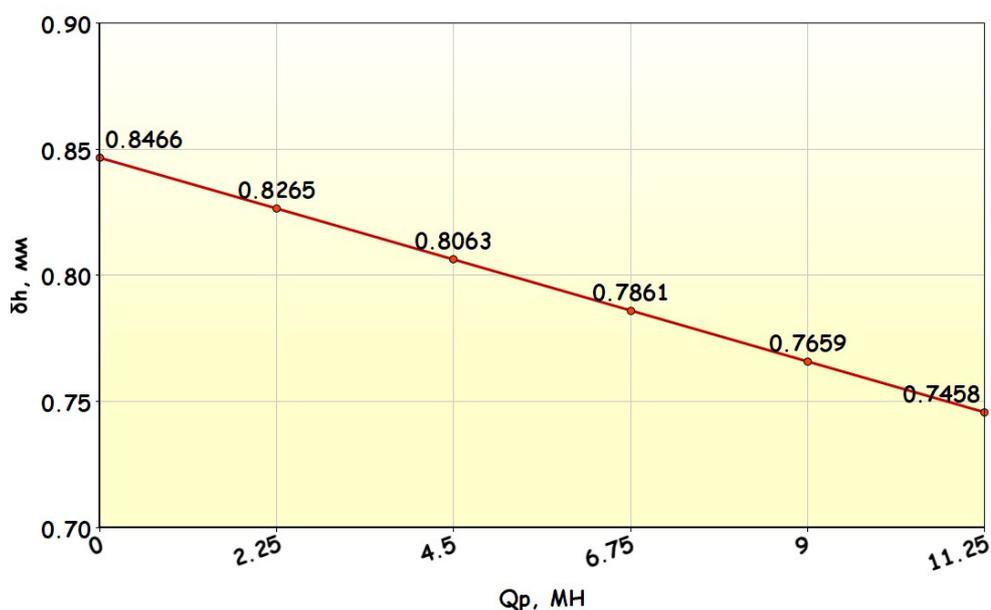
Рисунок 2 График изменения разнотолщинности δh от силы противоизгиба Q_p

Таблица 1

Показатели жёсткости и упругой деформации клетей кварто листопрокатных станов

Клеть	Диаметр валков, мм		Размеры листов, мм		Усилие прокатки, МН	Перемещение отдельных деталей клетки, в % от суммарной деформации				Максимальное перемещение посередине валька, мм	Жёсткость клетки, МН/мм
	рабочих	опорных	минимальная толщина	ширина		подшипники и подушки	нажимные винты и гайки	прогиб валков	станина		
Кварто 2800	900	1600	5	2600	30	37,7	15,1	28,4	15,6	6	5
Кварто 3200	950	1700	5	3000	38	35	15,9	31,3	14,9	7,3	5,21
Кварто 3000*	840	1500	4	2900	45	37,5		35,9	26,6	5,024	8,957

*результаты получены при $D_{ол}=1500$ мм, $D_p=840$ мм, $c_p=550$ мм.

В этой связи целесообразно рассмотреть применение удлиненной шейки с целью размещения на ней более габаритной и надёжной подшипниковой опоры.

Так, применение удлиненной шейки (увеличение плеча c_p с 550 мм до 710 мм), оказывает незначительное влияние на прогиб валков клетки кварто, но сопровождается ростом напряжений изгиба

в опасном сечении рабочего валька (сечение I-I, рис. 1). Такой недостаток компенсируется увеличением диаметра опасного сечения шейки валька и (или) использованием более высокопрочного материала рабочего валька. График зависимости результирующих напряжений $\sigma_{рез}$, учитывающих действие изгибающего и крутящего момента в опасном сечении шейки рабочего валька

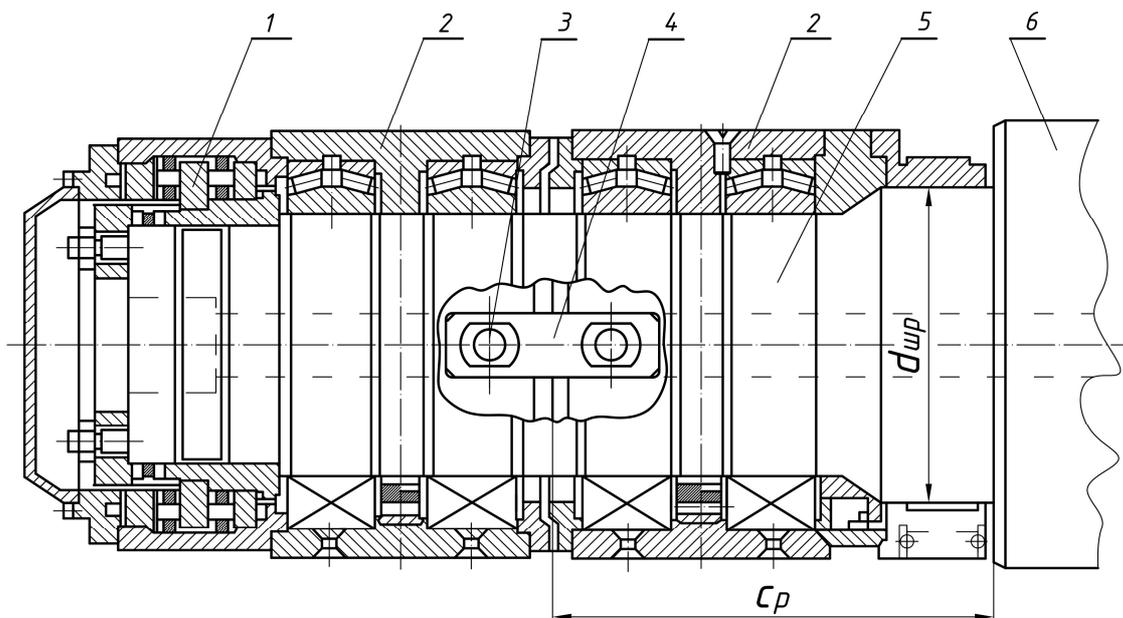
диаметром $d_{шр}=820$ мм (рис. 1), от плеча c_p представлен на рисунке 3.

Конструктивная реализация подшипниковой опоры рабочего валка предполагает размещение в каждой опоре валка двух подушек (рис. 4). Между собой подушки 2 свя-

заны тягами 4, установленными на осях 3, запрессованных в тело подушек. Это позволит обеспечить более равномерное распределение суммарной силы, действующей на опору, между рядами тел качения и увеличит долговечность подшипников.



Рисунок 3 График зависимости напряжения $\sigma_{рез}$ в опасном сечении шейки рабочего валка от плеча c_p приложения силы противоизгиба



1 — упорный узел; 2 — подушка; 3 — ось; 4 — тяга; 5, 6 — шейка и бочка рабочего валка

Рисунок 4 Конструкция подшипниковой опоры рабочего валка

Выводы. Дополнена и адаптирована для инженерного расчёта математическая модель упругой деформации клетки кварто с противоизгибом рабочих валков.

С помощью вариации конструктивных и технологических параметров выявлена степень влияния силы противоизгиба на разнотолщинность листового проката.

Исследована возможность увеличения длины опоры рабочего валка с установкой

подшипника более высокой грузоподъёмности, что позволит повысить надёжность клетки.

Результаты исследования могут быть использованы в проектно-конструкторских разработках клеток кварто и анализе их эффективности при регулировании показателей точности и плоскостности прокатываемых полос.

Библиографический список

1. Повышение качества листового проката [Текст] / В. Л. Мазур, А. П. Качайлов, В. Г. Иванченко, А. И. Добронравов. — К. : Техніка, 1979. — 143 с.
2. Валковые узлы и качество листового проката [Текст] / В. С. Горелик, В. Д. Елякин, В. Н. Зимин, О. М. Горячковская. — К. : Техника, 1989. — 127 с.
3. Машины и агрегаты металлургических заводов : учебник для вузов в 3-х т. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / А. И. Целиков [и др.] [Текст]. — [2-е изд., перераб. и доп.] — М. : Металлургия, 1988. — 680 с.
4. Николаев, В. А. Проблемы регулирования прогиба валков клетки кварто [Текст] / В. А. Николаев // Теоретические проблемы прокатного производства : труды V Международной научно-технической конференции. — Днепропетровск : Металлургическая и горнорудная промышленность, 2000. — № 08–09. Спецвыпуск. — С. 157–159.
5. Иванченко, Ф. К. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів [Текст] : навч. посіб. / Ф. К. Иванченко, В. М. Гребеник, В. І. Ширяєв. — К. : Вища шк., 1995. — 455 с. : іл.
6. Машиностроение. Энциклопедия : в 40 т. Т. IV-5. Машины и агрегаты металлургического производства / Н. В. Пасечник [и др.] ; под общ. ред. В. М. Синицкого, Н. В. Пасечника [Текст]. — М. : Машиностроение, 2000. — 912 с. : ил.
7. Болобанова, Н. Л. Развитие методов моделирования профилировок и упругих деформаций валков листовых станов с целью совершенствования технологии прокатки широких полос [Текст] / Н. Л. Болобанова. — Череповец, 2015. — 123 с.

© Петров П. А.

© Ульяницкий В. Н.

© Балашова О. С.

© Орлов А. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Еронько С. П.

Статья поступила в редакцию 09.10.18.

к.т.н. Петров П. О., к.т.н. Ульяницкий В. Н., к.т.н. Балашова О. С., Орлов А. А. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВАЛКОВОГО ВУЗЛА КЛІТИ КВАРТО І ЗНИЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ РІЗНОТОВЩИННОСТІ ЛИСТОВОГО МЕТАЛОПРОКАТУ

У статті розглянуто основні параметри, що зумовлюють якісні показники виробництва листового металопрокату. Розроблено математичну модель визначення жорсткості робочої кліти кварто з урахуванням системи протизгину робочих валків, встановлено ступінь впливу на поперечну різнотовщинність листа, що прокатується, конструктивних і технологічних параметрів валкової системи.

Ключові слова: кліть кварто, валковий вузол, жорсткість кліті, поперечна різномовчинність прокату, шийка валка, підшипникова опора.

PhD Petrov P. A., PhD Ulianitskiy V. N., PhD Balashova O. S., Orlov A. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INCREASING THE RELIABILITY OF MILL BLOCK OF FOUR-HIGH MILL STAND AND REDUCING THE WIDTHWISE THICKNESS DISTRIBUTION OF SHEET METAL

The paper deals with the main parameters that stipulate qualitative factors of sheet metal production. There has been developed the mathematical model for determining the rigidity of the operating four-high mill stand considering the work roll bending system, there has been determined the degree of influence of the design and process parameters of roll system on the rolled sheet widthwise thickness distribution.

Key words: four-high mill stand, mill block, widthwise thickness distribution of rolled stock, roll neck, bearing assembly.