Рахманов С. Р.¹Вышинский В. Т.²Поворотный В. В.¹Кулык Д. А.³Волошин Е. Ю.³¹Национальная
металлургическая
академия Украины²ООО НПФ «ВОСТОК
ПЛЮС»³ООО «ПО «ОСКАР»Rakhmanov S. R.¹Vyshynsky V. T.²Povorotnyy V. V.¹Kulyk D. A.³Voloshin Ye. Yu.³¹National Metallurgical
Academy of Ukraine²TOV NVF VOSTOK-PLUS³OSCAR PG LTD

УДК 621.771.28

СИСТЕМНАЯ ДИНАМИКА РАБОЧЕЙ КЛЕТЫ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПИЛЬГЕРНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

Разработана системная динамика рабочей клетки стана ХПТ различной конструкции. Приведена расчетная схема и составлены дифференциальные уравнения движения элементов рабочей клетки стана ХПТ. Получены картины динамических перемещений для выбранных элементов рабочей клетки стана ХПТ. Анализ теоретических исследований показал, что для стабилизации динамики базовых узлов клетки необходимо повышение жесткости соответствующих элементов рабочей клетки. Повышение жесткости клетки достигнуто выполнением в станине продольной перемычки переменной толщины, связывающей внутреннюю и наружную оболочки конструкции. Разработано устройство валков с кольцевыми калибрами и нажимное устройство валков оптимальной структуры, реализация которых позволяет более эффективно вести технологический процесс. При этом элементы установки валков с кольцевыми калибрами обладают повышенной жесткостью, а нажимное устройство приспособляется ко всем возможным неточностям изготовления рабочей клетки, монтажа и деформациям стоек станины. Увеличение производительности и повышение качества производимой продукции достигнуто преимущественно путем использования на стане ХПТ 32 рабочей клетки оптимальной конструкции с кольцевыми калибрами.

Ключевые слова: холодная прокатка труб, стан, технология, рабочая клетка, валок, станина, стойка, образующая, перемычка, подушка, масса, жесткость, вязкое сопротивление, заготовка, труба, нажимное устройство, динамика.

Введение. Современное производство труб методом холодной пильгерной прокатки (ХПТ) характеризуется растущими темпами технологических процессов, т.е. повышением скоростей и силовых воздействий на обрабатываемый продукт.

Отметим, что эффективность реализации процесса ХПТ может быть повышена не только путем совершенствования самого процесса, но и в значительной мере выбором рациональных параметров базового технологического

оборудования и режимов функционирования самих станков ХПТ. Следовательно, при этом, особое внимание необходимо уделять возможности повышения надежности функционирования, увеличению быстроходности и производительности станков ХПТ.

Актуальность вопроса. Поэтому, разработка основных концепций реконструкции рабочих клеток, обеспечивающих повышение их эксплуатационной прочности и повышение



качества прокатываемых труб, при одновременном снижении металлоемкости, является актуальной задачей, от решения которой во многом зависит расширение технологических возможностей и повышение эффективности станов ХПТ.

Увеличение производительности станов ХПТ может быть достигнуто путем снижения массы возвратно-поступательно перемещающейся рабочей клетки, а повышение качества холоднокатаных труб – путем увеличения ее жесткости и нагрузочной способности, и в первую очередь базовых элементов – стоек станины, рабочих валков, нажимного устройства и других элементов рабочей клетки [1, 5].

Отметим, что в условиях интенсификации режимов ХПТ, включающей увеличения в сортаменте станов удельного веса труб повышенной точности из специальных сплавов, наблюдается резкое снижение долговечности рабочих клетей. В большинстве это обусловлено действием значительных по величине и часто изменяющихся во времени знакопеременных динамических нагрузок. В результате этого из-за усталостного разрушения выходят из строя ответственные элементы рабочей клетки, в частности стойки самой станины и рабочие валки, несмотря на значительные запасы их статической прочности.

Постановка задачи. Результаты ряда основополагающих исследований, направленные на изучение особенностей процессов холодной пильгерной прокатки и динамики функционирования рабочей клетки станов ХПТ, обобщены и изложены в работах С.Н. Кожевникова, В.И. Соколовского, М.И. Гриншпуна, Ю.Ф. Шевакина, Ф.С. Сейдалиева, А.С. Ткаченко, В. Ф. Фролова и других. Данные исследования определили базовые предпосылки, на основе которых были выработаны главные направления по созданию и усовершенствованию основного оборудования станов ХПТ – в частности элементов базовой компоновки рабочей клетки.

При комплексной модернизации рабочих клетей станов ХПТ необходимо принимать во внимание как количественную сторону режимов интенсификации технологических процессов, так и качественные показатели готовых труб. При этом данная задача приобретает особую важность при производстве холоднокатаных труб из особо трудно деформируемых сталей и специальных сплавов.

В этой связи требуется изыскание конструкций рабочей клетки стана ХПТ, функционирование которой могло бы

обеспечить решение указанных выше задач. Отметим, что при создании конструкции рабочей клетки стана ХПТ необходимо обратить внимание на установление влияния рациональной формы станины клетки, на возможность уменьшения ее массы, при одновременном повышении несущей способности и жесткости конструкции, на возможность выбора оптимальной компоновки элементов рабочей клетки, установки валков, структуры нажимного устройства и другие вопросы.

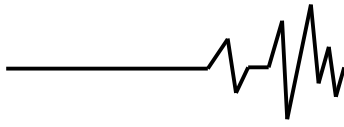
Основные результаты исследований станины рабочей клетки стана, в которой сочетаются высокая прочность и минимальная масса, были положены за основу при проектировании новой рабочей клетки стана ХПТ [2, 3, 4].

На особенности функционирования рабочей клетки в производственных условиях влияет ряд факторов, которые трудно учесть при аналитическом исследовании из-за необходимых допущений, неизбежных при рассмотрении сложных схем конструкции и вида нагружения стана. Поэтому были выполнены соответствующие исследования рабочей клетки станов ХПТ и проведена, оценена эффективность применения рациональной рабочей клетки с применением информационных технологий.

Решение задач по определению рациональных параметров рабочей клетки стана ХПТ предусматривает, прежде всего, установление величины и характера нагрузки, возникающей при взаимодействии станины с обрабатываемой трубной заготовкой [1].

При конструировании стоек станины в данном предположении принята, что граничная точка сопряжения поперечины и стойки станины фиксирована, а вторая выбирается исходя из условий минимизации сформированного функционала нагрузки [4].

Функция образующей стоек станины, представляющая собой решение уравнения Эйлера, что соответствует экстремали силового функционала. Среди всех кривых, изображающих образующую стойки станины, требуется найти ту, использование которой приводит к минимуму их деформацию. Из множества кривых образующей стоек станины требуется выбрать одну кривую, проходящую через заданную точку сопряжения и удовлетворяющую условиям гладкого сопряжения конца поперечины и начала стойки станины. Достигается это определением частных значений произвольных постоянных в составе общего решения уравнения Эйлера [4]. Точное решение задачи является достаточно



громоздким, с математической точки зрения, и в ряде случаев не приемлемым. Отметим, что инженерная методика определения параметров стойки станины, ее уравнение, как правило, не является самым простым, но в данном случае имеет достаточно упрощенный вид, что весьма эффективно при проектировании, как модельной оснастки, так и изготовлении самой станины.

Рабочая клеть стана ХПТ (рис. 1) состоит из станины, в раме которой смонтированы нажимное устройство, рабочие валки с калибрами в виде полудисков или кольцевыми калибрами, установленные на подшипниках в соответствующих подушках. Подушки верхнего и нижнего валков предварительно фиксируются в окне станины верхними и нижними 6 планками, а затем поддерживаются клиньями нажимного устройства.

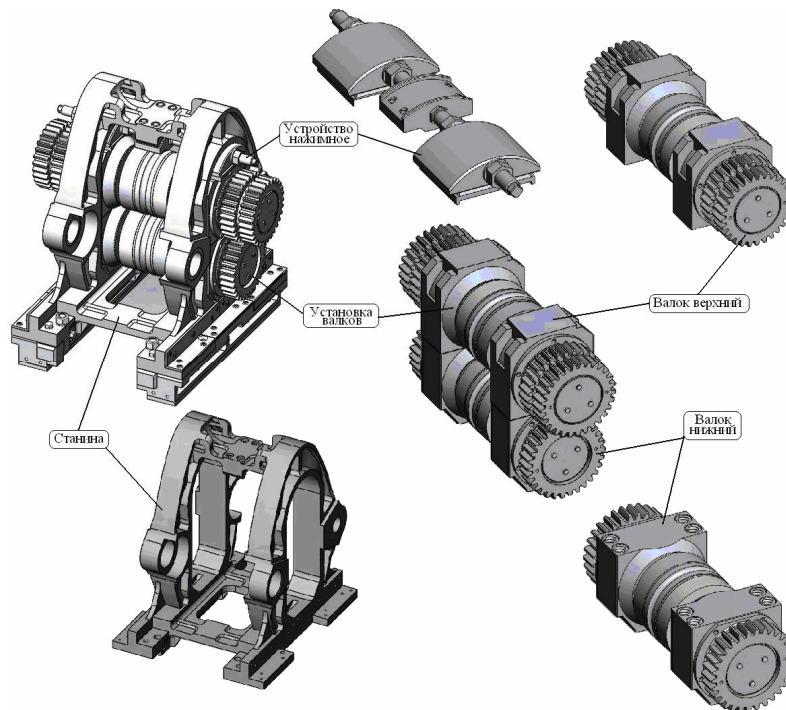


Рис. 1. Рабочая клеть стана ХПТ рациональной конструкции и повышенной жесткости

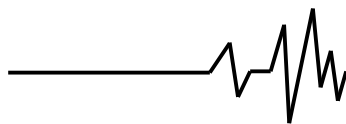
Станина представляет собой пространственную конструкцию, содержащую две соединенные связями овалообразные рамы рациональной формы, каждая из которых образована внутренней и наружной оболочками, сопряженными вертикальной продольной перемычкой 9 переменной толщины, включая на секторных углах в 120° верхнюю и нижнюю поперечины, сочлененные между собой стойками рациональной формы. На уровне оси прокатки стойки станины имеют выборки с отверстиями 10 для присоединения шатунов приводного механизма и штоков уравнивающего устройства.

Для установки рабочей клетки в станине стана в нижней части по обе стороны клетки расположены два ползуна, выполненные в виде опорных и боковых направляющих по всей рабочей длине. Вследствие появления возможности регулировки зазоров в проемах

станины стана повышается ремонтпригодность, устойчивость и плавность движения клетки, уменьшается износ опорных направляющих, к которым крепятся текстолитовые наделки.

Направляющие опоры рабочей клетки объединены с нижней связью станины в пространственную решетчатую систему – опоры и ребра связи соединены поперечными дополнительными элементами жесткости.

Благодаря данному исполнению, конструкция рабочей клетки стана ХПТ имеет оптимальную форму и способна выдержать большие технологические нагрузки. Опыт промышленной эксплуатации рабочей клетки стана ХПТ 32 со станин рациональной конструкции и установкой валков с кольцевыми калибрами показывает, что конструкция выдерживает 5 – 6 кратную перегрузку по давлению металла на валки, а снижения массы



клеті на 12–14% приводит к пропорциональному снижению динамических нагрузок.

Верхняя связь боковых рам выполнена с учетом возможности ее использования при монтаже нового нажимного устройства в установку рабочей клетки стана ХПТ.

Нажимное устройство рабочих валков [3, 4] содержит клиновой и винтовой механизмы. Клиновой механизм снабжен клиньями, перемещающимися по наклонным контактным поверхностям подушек, двумя парами компенсирующих самоустанавливающихся вкладышей с цилиндрическими поверхностями, оси которых, установлены на клиньях, параллельны продольной оси станины стана. Оси других вкладышей, контактируют со станиной, параллельны оси рабочего валка.

Индивидуальность опор верхнего валка к деформациям в процессе прокатки труб обеспечивает равномерное нагружение подшипников верхних подушек и по мере износа их последние смещаются вдоль оси валка навстречу друг – другу под действием горизонтальных составляющих реакций со стороны клиньев, обеспечивая выбор появляющихся зазоров. При этом также уменьшается осевое смещение валков относительно друг – друга и искажение профиля калибра.

Базируясь на результатах исследований станов ХПТ [1 – 4] следует отметить, что в процессе прокатки в подвижном очаге деформации контактное взаимодействие системы «валки – обрабатываемое изделие» формируется определенным образом в зависимости от величины поворота и подачи заготовки. Кроме вертикальных перемещений, определяемых податливостью системы «валки – подушки валков – узлы предохранительных устройств – рама клетки», рабочие валки осуществляют горизонтальные (вдоль собственной оси) перемещения, определяемые податливостью системы крепления подушек валков в окнах рам конструкции клетки. Совершая данные перемещения, рабочие валки с калибрами искажают мгновенное сечение очага деформации. Особенно существенны эти искажения в условиях подвижного очага деформации в соответствующих зонах, где окончательно формируются заданные геометрические характеристики готового изделия.

Процесс прокатки труб в ряде случаев сопровождается нарушениями технологических режимов (обрыв оправки), что вызывает значительные перегрузки по силе прокатки.

При этом нажимное устройство играет роль предохранительного устройства. Тогда клиновой механизм с двумя парами компенсирующих самоустанавливающихся вкладышей с цилиндрическими поверхностями перемещается по наклонным контактным поверхностям подушек параллельно оси валков, беспрепятственно пропускают оправку с трубой вдоль оси прокатки. Следует подчеркнуть, что данный проект рациональной рабочей клетки реализован на 10-и станах ХПТ 32 ряда отечественных заводов. Внедрение промышленных образцов рабочей клетки стана ХПТ 32 потребовало изучения их реального деформированного состояния и эффективности работы в целом. При этом проверялась достоверность основных теоретических положений, изложенных в данной работе.

Отметим, что при определенных условиях эксплуатации станов ХПТ, элементы станины не будут подвержены действию изгибающих моментов, то есть будут находиться в условиях одноосного напряженного состояния. Однако на практике конфигурация станины под действием технологической нагрузки деформируется, в результате этого ее элементы в той или иной мере подвергаются изгибу. Для того чтобы свести к минимуму это явление, необходимо определенным образом выбрать образующую стоек станины стана ХПТ.

Проанализируем результаты исследований влияния масс, жесткости и параметров нажимного устройства валков стана ХПТ на пружину и точность прокатываемых труб.

Для проведения комплекса визуализированных исследований был использован программный продукт *Solid Works Simulation* [5], позволяющий моделировать процессы нагружения станины подвижной клетки с учетом определенных ограничений и в реальном поле силовых воздействий со стороны обрабатываемого изделия. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Параметры приведенных жесткостей и масс рассматриваемых рабочих клеток конструкции ОАО «ЭЗТМ» и ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС» определены из соответствующих картин деформаций базовых компоновок при нагружении механической системы силой прокатки трубы в 0,5 МН. Полученные результаты занесены в таблицы 2 и 3.

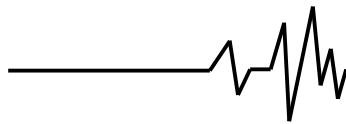


Таблица 1

Значение пружины клетки при нагрузке 500 кН на валок

Наименование узла рабочей клетки	Масса, кг	Статическая деформация, мкм			Жесткость, Н/мм
		мин.	ср.	макс.	
Клин нажимного устройства	9,75	0,13	1,14	3,19	$0,43 \cdot 10^{12}$
Вкладыш нажимного устройства	15,57	0,29	2,64	20,3	$0,189 \cdot 10^{12}$
Подушка верхняя в сборе	79,31	7,43	8,2	9,2	$0,54 \cdot 10^{11}$
Подушка нижняя в сборе	69,40	6,97	7,64	8,56	$0,65 \cdot 10^{11}$
Подшипник		-	180	-	$2,7 \cdot 10^9$
Валок верхний	163/399+9*	26,5	37,6	47	$0,132 \cdot 10^{11}$
Валок нижний	135/297+9*	26,5	37,6	47	$0,132 \cdot 10^{11}$
Деформируемая часть станины	480/823	15,4	37,4	52,9	$0,133 \cdot 10^{11}$
Оправка	-	-	47	-	$0,1 \cdot 10^{11}$

Таблица 2

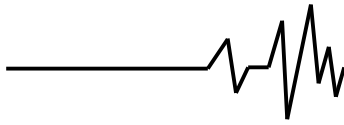
Показатели жесткостей приведенной схемы рабочей клетки стана ХПТ 32 конструкции ОАО «ЭЗТМ» и ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС»

Наименование элементов механической системы	Обозначение приведенной жесткости	Значения приведенной жесткости (ОАО «ЭЗТМ»), Н/м	Значения приведенной жесткости (ООО «НПФ «Восток Плюс»), Н/м
Жесткость нижних подушек	C ₁	$1,3 \cdot 10^{11}$	$1,3 \cdot 10^{11}$
Жесткость подшипников	C ₂	$2,7 \cdot 10^{11}$	$2,7 \cdot 10^{11}$
Жесткость межвалкового пространства	C ₃	$0,4 \cdot 10^{11}$	$0,364 \cdot 10^{11}$
Жесткость подшипников	C ₄	$2,7 \cdot 10^{11}$	$2,7 \cdot 10^{11}$
Жесткость верхних подушек	C ₅	$1,08 \cdot 10^{11}$	$1,08 \cdot 10^{11}$
Жесткость элементов нажимного устройства	C ₆	$0,52 \cdot 10^9$	$0,3 \cdot 10^{12}$
Жесткость деформирующейся части станины	C ₇	$0,2 \cdot 10^{10}$	$0,133 \cdot 10^{11}$

Таблица 3

Показатели приведенных масс рабочей клетки стана ХПТ 32 конструкции ОАО «ЭЗТМ» и ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС»

Наименование приведенных масс механической системы	Обозначение масс системы	Значение масс клетки ОАО «ЭЗТМ», кг	Значение масс клетки ООО «НПФ «Восток Плюс», кг
Масса нижнее подушки	m ₁	138,8	138,8
Масса нижнего валка	m ₂	306	306
Масса верхнего валка	m ₃	458	408
Масса верхней подушки	m ₄	154	158,6
Масса нажимного устройства	m ₅	20,8	50,64
Масса деформирующейся части станины	m ₆	490	420



При формировании динамической модели (рис. 2) рабочей клетки были приняты необходимые допущения о том, что линия действия равнодействующей сил контактного

взаимодействия обрабатываемого изделия и калибра валка проходит через ось прокатки, так как обрабатываемое изделие представляет собой тело вращения.

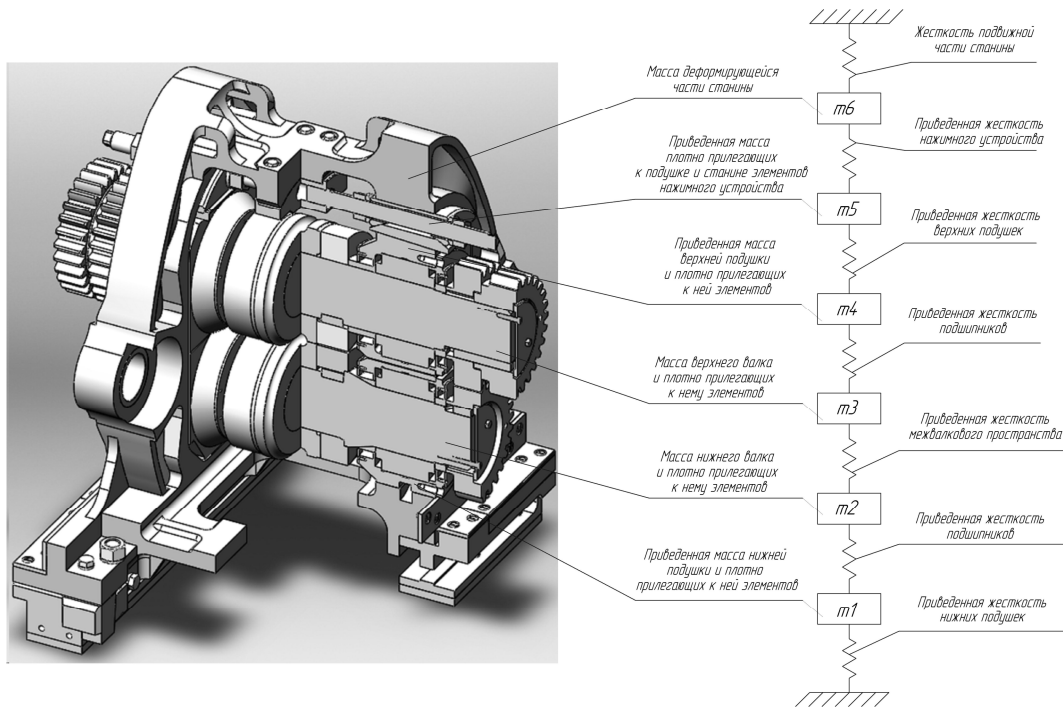


Рис. 2. Модель и расчетная схема рабочей клетки стана ХПТ 32 конструкторий ООО «НПФ «Восток Плюс»

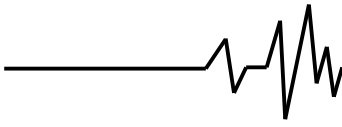
Математическая модель динамики рабочей клетки стана ХПТ в постановке задачи

Коши с учетом определенных начальных условий, согласно [6, 7] представлены в виде:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \frac{d^2 x_1(t)}{dt^2} = -\mu_1 \frac{dx_1}{dt} - C_1 x_1(t) + C_2 (x_2(t) - x_1(t)) \\ m_2 \cdot \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} = -\mu_2 \frac{dx_2}{dt} - C_2 (x_1(t) - x_2(t)) + C_3 (x_3(t) - x_2(t)) - P(t) \\ m_3 \cdot \frac{d^2 x_3(t)}{dt^2} = -\mu_3 \frac{dx_3}{dt} - C_3 (x_3(t) - x_2(t)) + C_4 (x_4(t) - x_3(t)) + P(t) \\ m_4 \cdot \frac{d^2 x_4(t)}{dt^2} = -\mu_4 \frac{dx_4}{dt} - C_4 (x_4(t) - x_3(t)) + C_5 (x_5(t) - x_4(t)) \\ m_5 \cdot \frac{d^2 x_5(t)}{dt^2} = -\mu_5 \frac{dx_5}{dt} - C_5 (x_5(t) - x_4(t)) + C_6 (x_6(t) - x_5(t)) \\ m_6 \cdot \frac{d^2 x_6(t)}{dt^2} = -\mu_6 \frac{dx_6}{dt} - C_6 (x_6(t) - x_5(t)) + C_7 \cdot x_6(t) \end{cases}$$

где x_k ($k = 1, 6$) – динамические перемещения соответствующих частей рабочей клетки; m_k ($k = 1, 6$) – массы элементов клетки,

C_k ($k = 1, 7$) – жесткости элементов клетки; μ_k ($k = 1, 6$) – вязкое сопротивление узлов клетки.



Исследование математической модели многомассовой и динамической функционирования элементов рабочей клетки стана ХПТ 32 реализовано численно методом Рунге – Кутты с применением информационных технологий (программного продукта Matcad). Для получения сравнительных характеристик разностенности вдоль конуса деформации представляет интерес также параметры

колебательной системы вмежвалковом пространстве рабочей клетки стана ХПТ. Динамические особенности и условия функционирования комбинированных элементов вмежвалкового пространства рабочей клетки станов ХПТ 32 конструкций конструкции ОАО «ЭЗТМ» и ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС» представлены на рис. 3.

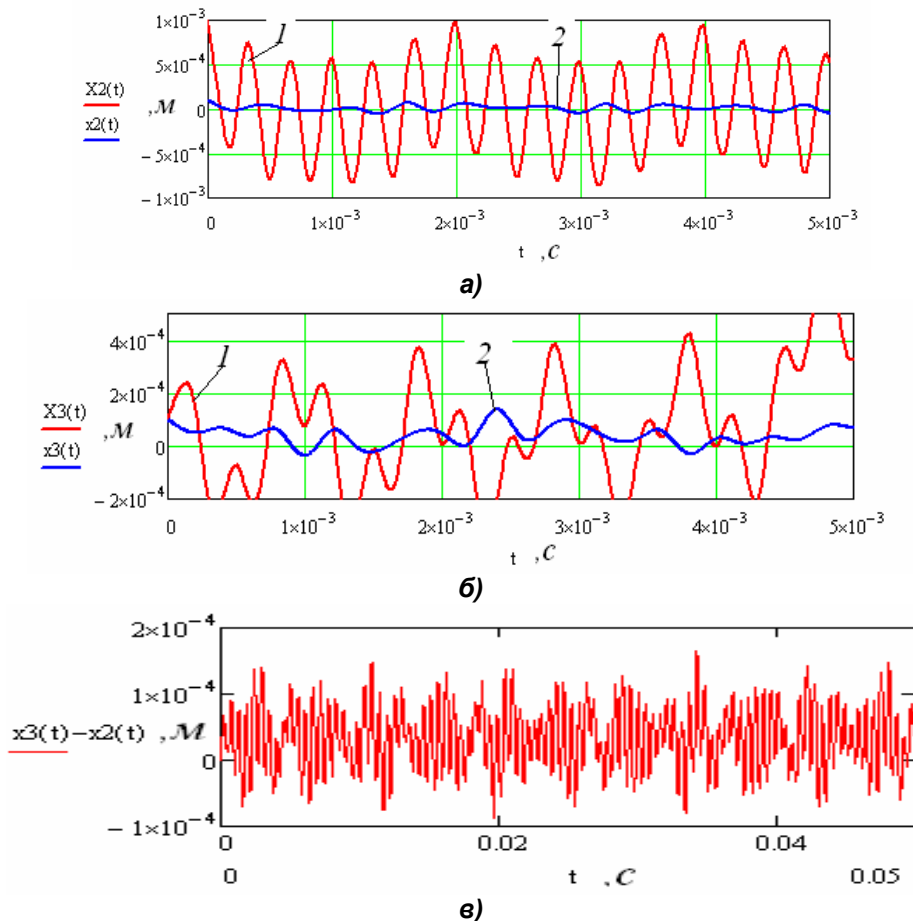


Рис. 3. Динамическое состояние нижнего а), верхнего б) валков и межвалкового пространства в) рабочих клеток станов ХПТ 32 различной конструкции: 1 – рабочая клетка стана ХПТ 32 конструкции ОАО «ЭЗТМ»; 2 – рабочая клетка стана ХПТ 32 конструкции ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС»

Для исследования влияния повышения жесткости клетки на разностенность труб были прокатаны 2 пакета труб из сплава Gr – 2, по маршруту 28x2,5→19x1,55, на двух станах ХПТ 32 – один оборудован клетью конструкции ОАО «ЭЗТМ», а другой клетью повышенной жесткости конструкции ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС».

Интересным также является сравнение характера изменения разностенности вдоль конуса деформации прокатанных на станах ХПТ 32 с рабочей клетью конструкции ОАО «ЭЗТМ» и ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС». Для подтверждения адекватности полученных

результатов проведен анализ условий прокатки труб из титанового сплава по маршруту 28x2,0→19x1,5 на стане ХПТ-32 оборудованном рациональной рабочей клетью. До и после прокатки была замерена поперечная разностенность вдоль каждой трубы каждого пакета.

Измерения толщины стенки труб прокатанных по маршруту 28x2,0→19x1,5 (сплав Gr2) на станах ХПТ 32 на рабочей клетях различных конструкций с использованием ультразвукового измерителя толщины стенки представлены на рис. 4.

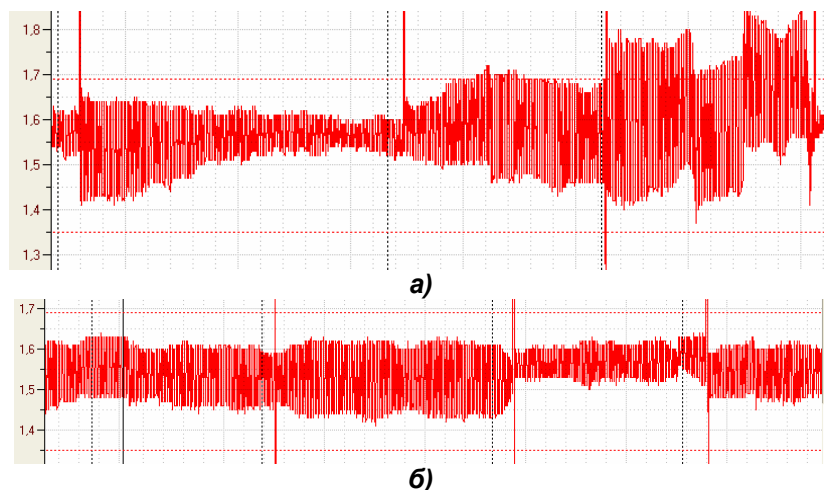
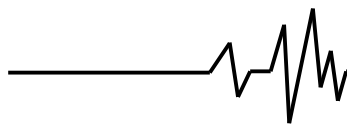


Рис. 4. Результаты толщинометрии труб прокатанных по маршруту 28x2,5→19x1,55 (сплав Gr2) на станах ХПТ 32 с рабочей клетью конструкции ОАО «ЭЗТМ» а) и ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС» б) с использованием ультразвукового измерителя толщины стенки

В работе [8] приведены результаты исследований влияния различных технологических факторов прокатки труб в станах ХПТ на величину поперечной разностенности труб. В частности приводятся сведения о том, что жесткость клетки является фактором, способным повлиять на точность труб. Анализ изменения значений разностенности пакета труб, прокатанного на стане, оснащенный клетью конструкции ООО «НПФ «ВОСТОК ПЛЮС», показывает, что среднее значение абсолютной разностенности в пакете уменьшилось на 52,03 % (с 0,207 до 0,099 миллиметров).

Выводы

Проведен системный анализ и синтез динамики рабочей клетки стана ХПТ различной конструкции.

Получены уточненные картины динамических перемещений элементов рабочей клетки стана ХПТ 32. Комплексные исследования показали, что для стабилизации динамики рабочей клетки необходимо повышение жесткости базовых элементов станины и установки валков до расчетных величин.

Исследованиями установлено, что расширение технологических возможностей, повышение производительности и качества производимой продукции стана ХПТ 32 может быть достигнуто путем использования в составе основного оборудования модернизированной рабочей клетки рациональной конструкции повышенной жесткости с кольцевыми калибрами.

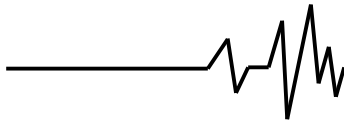
Разработана, изготовлена и внедрена усовершенствованная конструкция рабочей клетки стана на станах ХПТ 32 с рациональной компоновкой взаимосвязанных элементов. Исследования динамики показали, что для повышения жесткости элементов станины необходимо выполнение продольной перемычки, связывающей внутреннюю и наружную оболочки конструкции станины, переменной толщины.

Разработано, изготовлено и внедрено совмещенное предохранительное нажимное – устройство рабочей клетки оптимальной структуры, реализация которого позволяет более эффективно вести технологический процесс. Установлено, что элементы нажимного устройства могут приспосабливаться ко всем возможным неточностям изготовления, монтажа и нарушениям технологического режима прокатки труб (срыв оправки со стержня), а также к деформациям стоек станины в ходе прокатки труб.

Промышленная эксплуатация усовершенствованного варианта рациональной конструкции рабочей клетки с кольцевыми калибрами на отечественных заводах в течении длительного времени в режиме, характеризуемом, в основном, жесткими условиями прокатки труднодеформируемых сталей и сплавов, подтверждает ее эффективность в работе при производстве прецизионных высококачественных труб.

Список использованных источников

1. Фролов В.Ф. Холодная пильгерная прокатка труб / В.Ф. Фролов, В.Н. Данченко,



Я.В. Фролов; Гос. предпр. "Научно-исследовательский трубный институт им. Я.Е. Осады, Нац. металлург. акад. Украины. – Днепропетровск: Пороги, 2005. – 255 с.

2. А.с. № 1148660 СССР, МКИ В 21 В 21/00. Рабочая клеть стана холодной прокатки труб / А.С.Ткаченко, С.М. Крышин, В.Ф. Орещенко, Л.А. Сафонов, Ю.Л. Лукашук, В.Т. Вышинский и А.В. Цупкин (СССР) – №3674757/22-02. Заявл. 20.12.83, опубл. 07.04.85. Бюл. №13. – 4 с.

3. А.с. № 995929 СССР, МКИ В 21 В 21/00. Нажимное устройство стана холодной прокатки труб/А.С. Ткаченко, М.И. Гриншпун, В.Т. Вышинский, Ю.И. Черевик, О.Я. Рабинович, В.Е. Никитенко (СССР). – № 3268797/22-02. Заявл. 03.04.81; Опубл. 25.02.83, Бюл. № 6. – 4 с.

4. Рахманов С.Р. Расчет конструкции рабочей клетки стана холодной прокатки труб./ Рахманов С.Р., Крышин С.М., Орещенко В.Ф., Вышинский В.Т., Журавлев А.В.//Металлургическая и горнорудная промышленность – 2013. – №5. – с. 45–51.

5. Алямовский А.А. Инженерные расчёты в Solid Works Simulation.М.: БМК Пресс, 2010. – 464с.

6. Кожевников С.Н., Динамика нестационарных процессов в машинах. – Киев: Наукова думка, 1986. – 288 с.

7. Иванченко Ф.К и др. Динамика и прочность металлургического оборудования. – М.: Металлургия, 1970. – 488 с.

8. Пилипенко С.В. Экспериментальное исследование влияния эллипсной и круглой с выпуклостями по радиусу форм поперечного сечения ручья калибра стана ХПТ на поперечную разностенность труб / С.В. Пилипенко, В.У. Григоренко, И.В. Маркевич, В.Н. Мищенко // Вісник Сумського державного університету. – 2011. – №4. – С. 158–164.

Список источников в транслитерации

1. Frolov V.F. Kholodnaya pil'gernaya prokatka trub / V.F. Frolov, V.N. Danchenko, YA.V. Frolov; Gos. predpr. "Nauchno-issledovatel'skiy trubnyy institut im. YA.Ye. osady, Nats. Metallurg. Akad. Ukrainy. – Dnepropetrovsk: Porogi, 2005. – 255 s.

2. А.с. № 1148660 SSSR, МКИ В 21 В 21/00. Rabochaya klet' stana kholodnoy prokatki trub / A.S.Tkachenko, S.M. Kryshin, V.F. Oreshchenko, L.A. Safonov, YU.L. Lukashchuk, V.T. Vyshinskiy i A.V. Tsupkin (SSSR) – №3674757 / 22-02. Zayavl. 20.12.83, opubl. 07.04.85. Byul. №13. – 4 s.

3. А.с. № 995929 SSSR, МКИ В 21 В 21/00. Nazhimnoye ustroystvo sostoyaniya kholodnoy prokatki trub / A.S. Tkachenko, M.I. Grinshpun, V.T. Vyshinskiy, Yu.I. Botinok, YA. Rabinovich, V.Ye. Nikitenko (SSSR). – № 3268797 / 22-02: .Zayavl. 03.04.81; Opubl. 25.02.83, Byul. № 6. – 4 s.

4. Rakhmanov S.R. Raschet konstruktсии rabochey kleti stana kholodnoy prokatki trub. / Rakhmanov S.R., Kryshin S.M., Oreshchenko V.F., Vyshinskiy V.T., Zhuravlev A.V. // metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost – 2013 – № 5. – S. 45–51.

5. Alyamovskiy A.A. Inzhenernyye raschoty v Solid Works Simulation.М.: БМК Пресс, 2010. – 464с.

6. Kozhevnikov S.N., Dinamika nestatsionarnykh protsessov v mashinakh. – Kiyev: Naukova dumka, 1986. – 288 s.

7. Ivanchenko F.K i dr. Dinamika i prochnost' metallurgicheskogo oborudovaniya. – М.: Metallurgiya, 1970. – 488 s.

8. Pilipenko S.V. Eksperimental'noye issledovaniye vliyaniya ellipsnoy i krugloy s vypuskami po radiusu form poperechnogo secheniya ruch'ya kalibra sostoyaniya KHPT na poperechnuyu raznostennost trub / S.V. Pilipenko, V.U. Grigorenko, I.V. Markevich, V.N. Mishchenko // Vestnik Sumskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2011. – №4. – S. 158–164.

СИСТЕМНА ДИНАМІКА РОБОЧОЇ КЛІТИ СТАНУ ХОЛОДНОЇ ПІЛЬГЕРНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ

Анотація. Розроблено системну динаміку робочої кліти стану ХПТ різної конструкції. Наведено розрахункову схему і складені диференціальні рівняння руху елементів робочої кліти стану ХПТ. Отримано картини динамічних переміщень для обраних елементів робочої кліти стану ХПТ. Аналіз теоретичних досліджень показав, що для стабілізації динаміки базових вузлів кліти необхідно підвищення жорсткості відповідних елементів робочої кліти. Підвищення жорсткості кліти досягнуто виконанням в станині поздовжньої перемички змінної товщини, що зв'язує внутрішню і зовнішню оболонки конструкції. Розроблено установку валків з кільцевими калібрами і натискний пристрій валків оптимальної структури, реалізація яких дозволяє більш ефективно вести технологічний процес. При цьому елементи установки валків з кільцевими калібрами володіють підвищеною жорсткістю, а натискний пристрій пристосовується до всіх можливих



неточностей виготовлення робочої клімі, монтажу і деформацій стійок станини. Збільшення продуктивності і підвищення якості продукції, що виробляється досягнуто переважно шляхом використання на стані ХПТ 32 робочої клімі оптимальної конструкції з кільцевими калібрами.

Ключові слова: холодна прокатка труб, стан, технологія, робоча клімі, валок, станина, стійка, утворює, перемичка, подушка, маса, жорсткість, в'язкий опір, заготівля, труба, натискний пристрій, динаміка.

SYSTEM DYNAMICS WORKING MILL STAND THE COLD PILGER ROLLING TUBE

Annotation. System dynamics of a working cage of a camp of CPT of various designs is given. The settlement scheme is developed and the differential equations of the movement of elements of a working cage of a camp of CPT are worked out. Pictures of dynamic movements for the chosen elements of a working cage of a camp of CPT are received. The analysis of theoretical

researches showed that stabilization of dynamics of basic knots of a cage requires increase of rigidity of the corresponding elements of a working cage. Increase of rigidity of a cage is reached by performance in a bed of a longitudinal crossing point of the variable thickness connecting internal and external covers of a design. The press device of rolls of optimum structure which realization allows to conduct technological process more effectively is developed installation of rolls with ring calibers also. Thus elements of installation of rolls with ring calibers possess the increased rigidity, and the press device adapts to all possible inaccuracies of production of a working cage, installation and deformations of racks of a bed. The increase in productivity and improvement of quality of the made production is reached mainly by use on camp CPT 32 working cages of an optimum design with ring calibers.

Key words: cold rolling of pipes, a camp, technology, a working cage, a roll, the bed, a rack forming a crossing point, a pillow, weight, rigidity, viscous resistance, preparation, a pipe, the press device, dynamics.