

УДК 621.774.28

*Рахманов С.Р.<sup>а</sup>, Вышинский В.Т.<sup>а</sup>, Пача С.В.<sup>б</sup>*

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ КЛЕТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО СТАНА ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТА

<sup>а</sup> Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина<sup>б</sup> ПГ «Технология», г. Запорожье, Украина

Наиболее узким местом агрегата для производства бесшовных горячекатаных труб является автоматический стан. Сложности анализа явлений, происходящих в очаге деформации автоматического стана, обусловлены тем, что на обрабатываемое изделие совместно с валками и оправкой воздействует стержневой механизм удержания оправки на оси прокатки. Это формируют специфические начальные условия не только протекания технологического процесса, но и обуславливают сложное поведение рабочей клетки. Наименее изученными среди процессов, сопровождающих процесс прокатки гильз на автоматическом стане, являются поведение комплекса, включающего станину рабочей клетки со всеми механизмами ее удержания. Исследования условий эксплуатации трубопрокатного агрегата (ТПА) с автоматическими станами показывает, что их отличительной особенностью от других станов технологического цикла прокатки бесшовных труб является наличие нестационарных динамических процессов. При этом нагрузки в периоды захвата гильзы, например на автоматическом стане ТПА 350, в 3...5 раза превосходят нагрузки при установившемся процессе прокатки. Математическая модель процесса взаимодействия прокатываемой заготовки с элементами рабочей клетки, рассматриваемая в известных работах, не позволяет полностью представить особенности функционирования рабочей клетки в процессе прокатки гильзы. Приведены результаты исследования уточненной динамической модели этого комплекса автоматического стана трубопрокатного агрегата ТПА. Получены картины виброактивности элементов рабочей клетки и опорных узлов механизма удержания механической системы. На примере расчета динамики рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 установлены некоторые особенности функционирования механической системы с четырьмя степенями свободы. Выявлены параметры динамичности рабочей клетки автоматического стана и механизма ее удержания, влияющие на значение такого важного параметра – разностенность прокатываемых гильз. Это позволило сформулировать предложения по совершенствованию узлов системы удержания рабочей клетки автоматического стана ТПА 350.

**Ключевые слова:** агрегат для производства бесшовных горячекатаных труб, очаг деформации автоматического стана, станина рабочей клетки, механизмы удержания рабочей клетки, нестационарные динамические процессы, картины виброактивности, разностенность прокатываемых гильз.

DOI: 10.32434/2521-6406-2018-4-2-65-72

### *Введение*

Условия эксплуатации отечественных трубопрокатных агрегатов (ТПА) влечет за собой ужесточение режимов функционирования основного и вспомогательного оборудования технологической линии. Автоматический стан, соглас-

но циклограмме работы ТПА формирующий начальные параметры изделия в технологическом процессе производства бесшовных горячекатаных труб, является наиболее узким местом. Прокатка гильзы на автоматическом стане ТПА 350 характеризуется тем, что на гильзу, вза-

имодельствующую с валками и оправкой, воздействует стержневой механизм ее удержания на оси прокатки. Следует отметить, что данные условия формируют специфические начальные условия технологического процесса, обуславливают сложное поведение рабочей клетки и в следствии этого нестационарные динамические процессы на самом автоматическом стане ТПА [2].

#### **Анализ последних исследований и публикаций**

Наименее изученными среди динамических процессов, сопровождающих процесс прокатки гильз на автоматическом стане, являются поведение станины рабочей клетки со всеми механизмами ее удержания. Особенности взаимодействия гильзы с рабочей клетью автоматического стана существенно влияют на характер функционирования данной механической системы. Опыт исследования условий эксплуатации ТПА с автоматическими станами показывает, что их отличительной особенностью от других станов технологического цикла прокатки труб является наличие нестационарных динамических процессов. При этом динамические нагрузки, например на автоматическом стане ТПА 350, в периоды захвата гильзы в 3...5 раза превосходят нагрузки при установившемся процессе прокатки. Большинство известных математических моделей процесса взаимодействия прокатываемой заготовки с рабочей клетью не позволяет полностью представить особенности функционирования рабочей клетки в процессе прокатки гильзы. Однако, анализ математической модели нестационарного взаимодействия прокатываемого металла с рабочей клетью стана, рассмотренной в работе [2], позволил получить возможность описать формирования нагрузок в периоды переходных процессов.

Среди совокупности нагрузок, действующ-

щих на рабочую клеть и элементы автоматического стана ТПА, наименее изученными являются значительные по величине и изменяющиеся во времени нестационарные динамические нагрузки. Многочисленные исследования условий эксплуатации автоматических станов ТПА показали, что при захвате гильз валками, рабочие клетки совершают неконтролируемые движения в пространстве, что оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние элементов клетей, формирует сложные картины процессов прокатки гильз, приводящие к заметным искажениям очагов деформации. Следовательно, для обеспечения устойчивой геометрии гильз, прокатываемых на автоматических станах ТПА, кроме всего, существенное практическое значение имеет решение задачи обеспечения стабилизации состояния рабочих клетей.

#### **Цель работы**

Определение реальных спектров и уровней динамических нагрузок позволило бы разработать рекомендации по совершенствованию рабочих клетей автоматических станов ТПА, расширить их технологические возможности, повысить долговечность и надежность функционирования.

#### **Метод решения задачи**

Данная работа выполнена на основе развития математической модели динамических процессов в механической системе автоматического стана ТПА, где сделана попытка по установлению параметров функционирования рабочей клетки с прокатываемой гильзой в постановке задач динамики. Предложенный подход более корректен и удобен при изучении сложных динамических явлений в элементах автоматического стана ТПА. Ниже в работе приведены

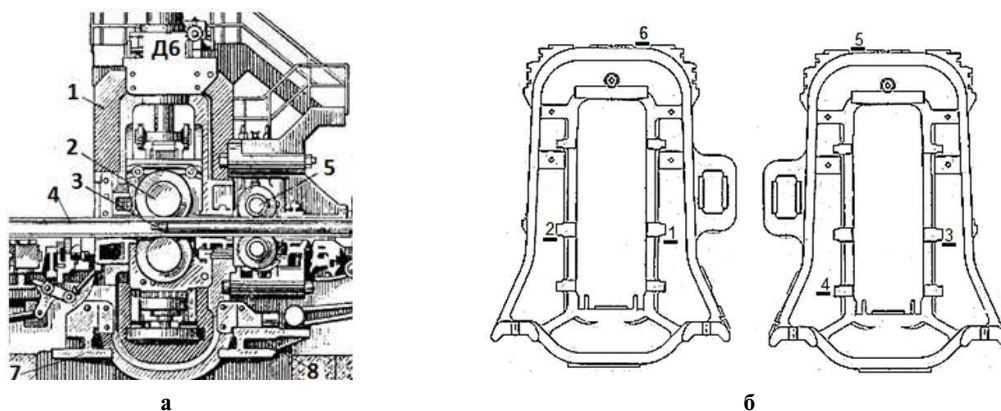


Рис. 1. Автоматический стан ТПА (а) и схема размещения датчиков на полустанинах рабочей клетки ТПА 350 (б):

1 – станина клетки стана; 2 – рабочие валки; 3 – оправка со стержнем; 4 – гильза (трубная заготовка); 5 – ролики обратной подачи; 7, 8 – узлы удержания рабочей клетки

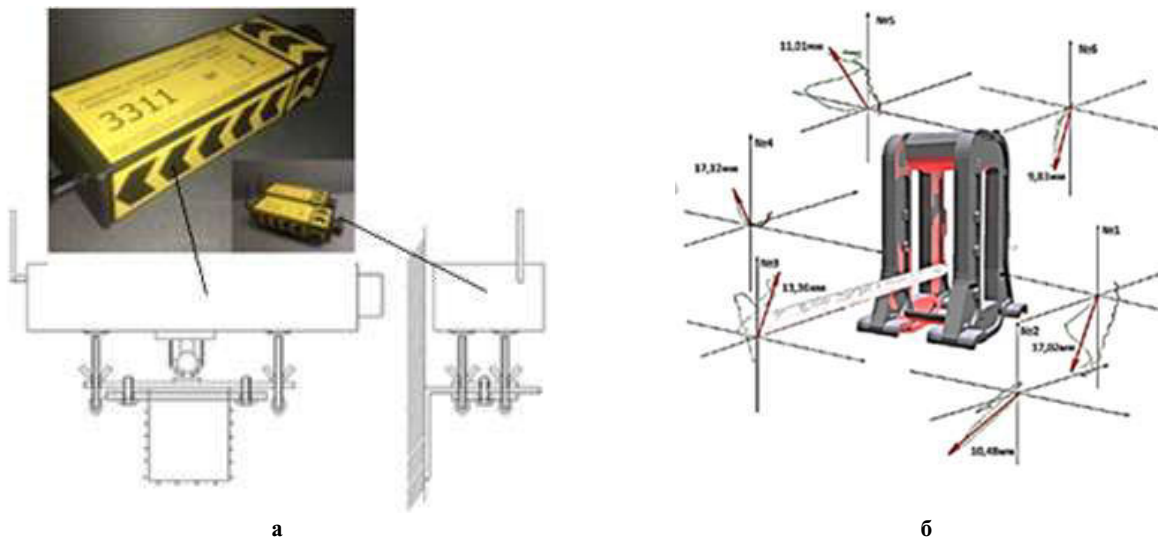


Рис. 2. Универсальные датчики пространственного ориентирования и полученные в результате обработки информации датчиков картины пространственных перемещений различных участков клетки во время прокатки гильз

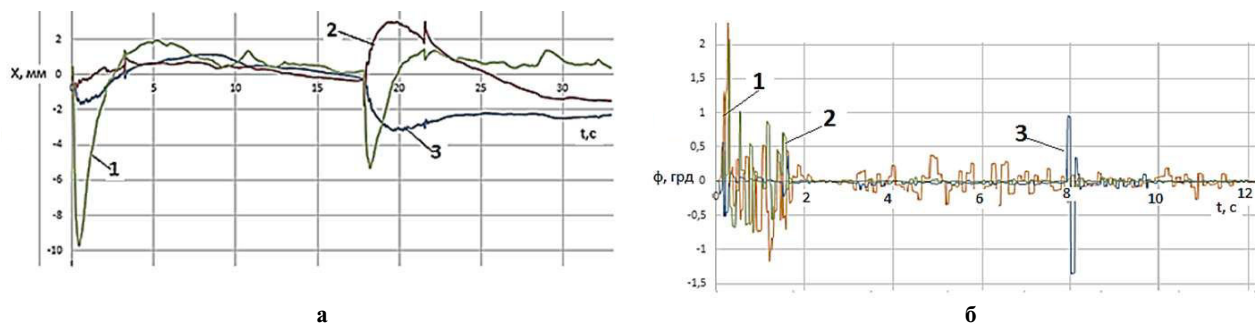


Рис. 3. Линейные (а) и угловые (б) смещения рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 при прокатке трубы 273×6,3 (показания датчика № 6): 1 – линейные и угловые смещения датчика относительно вертикали; 2 – линейные и угловые смещения датчика относительно оси прокатки; 3 – линейные и угловые смещения датчика относительно оси, параллельной начальному положению осей валков

результаты исследования динамики рабочей клетки автоматического стана ТПА 350, путем развития принятых расчетных схем и математической модели исходной механической системы.

Автоматический стан ТПА 350 и одна из схем размещения датчиков, информирующих о пространственных перемещениях различных участков рабочей клетки, представлена на рис. 1.

Фиксация линейных и угловых смещений участков рабочей клетки осуществлялась универсальными датчиками пространственного ориентирования, основным чувствительным элементом которых является динамический инклинометрический модуль DCA126-T, разработанный швейцарской компанией OEM и производимый компанией RION Tech. (ГОНКОНГ). На рис. 2 представлены универсальные датчики пространственного ориентирования и полученные в ре-

зультате обработки информации датчиков картины пространственных перемещений различных участков клетки во время прокатки гильз.

На рис. 3 представлены линейные и угловые смещения станины рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 при прокатке трубы 273,0×6,3 полученные по показаниям датчика Д6.

Интенсивность нестационарного воздействия со стороны очага деформации на рабочую клетку, изменение во времени инертности трубы и параметров жесткости крепления рабочей клетки к опорным плоскостям значительно усложняет описание динамических процессов на автоматическом стане ТПА. Отметим, что исследование развитой динамической модели «рабочая клетка–механизм удержания клетки» позволит проанализировать динамическое состояние, как элементов рабочей клетки, так и взаимосвя-

занных узлов механической системы в течение всего процесса прокатки гильзы. Актуальным становится установление взаимосвязи между динамическими процессами, например на автоматическом стане ТПА 350, и параметрами разностенности прокатываемых гильз. На основании полученного, следует разработать ряд мероприятий и предложений по комплексной модернизации рабочей клетки и оборудования выходной стороны, например автоматического стана ТПА 350. Для формирования научно-обоснованных предложений по совершенствованию конструкции рабочей клетки автоматического стана ТПА необходимо более глубоко изучить влияние различных параметров и особенностей формирования технологического процесса прокатки гильз на динамику всей механической системы стана и качество готовой продукции. Выбранное направление исследований отличается от известных подходом к анализу и синтезу взаимосвязанных динамических процессов с учетом податливости опорных узлов механизма удержания станины на опорных шинах и циклически изменяющихся технологических нагрузок, действующих со стороны очага деформации на элементы рабочей клетки.

Для установления взаимосвязи динамики рабочей клетки с условиями функционирования автоматического стана ТПА переходим к описанию математической модели динамических процессов. Математическую модель исходной механической системы рабочей клетки автоматического стана ТПА в наиболее общем виде представляем с помощью дифференциальных уравнений, описывающих поведение выбранной расчетной схемы (рис. 4).

Далее переходим к анализу выбранной динамической модели рабочей клетки автоматического стана ТПА с восьмью степенями свободы и решению многофакторной задачи.

Выбираем пространственную систему координат в центре масс рабочей клетки и преобразуем исходную сложную динамическую модель механической системы с использованием методик [2,3,4] в упрощенную механическую систему жестких тел определенным образом связанных между собой в опорных узлах упругими элементами. Пространственное положение данной механической системы в процессе колебаний характеризуется соответствующими координатами в выбранной системе отсчета. Исходя из выбранной расчетной схемы рабочей клетки стана (рис. 4) определяем кинетическую и потенциальную энергии механической системы

соответственно. С учетом определенных начальных и граничных условий поставленную задачу представляем в постановке традиционной задачи динамики механической системы.

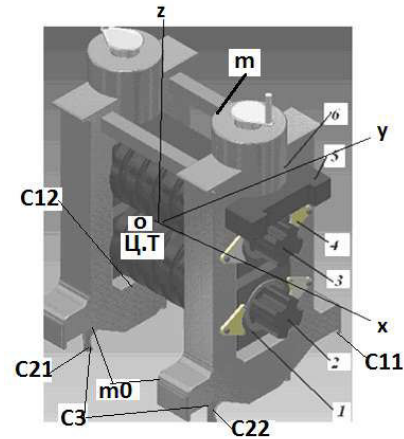


Рис. 4. Расчетная схема рабочей клетки автоматического стана ТПА

Считая, что лапы станины и тумбы (шины), удерживающие рабочую клетку на опорных механизмах, деформируемы, для упрощенной механической системы с четырьмя степенями свободы соответственно кинетическую и потенциальную энергии системы находим в виде:

$$T = \frac{1}{2} m (\dot{z}_{11}^2 + i^2 \dot{\phi}_{16}^2) + 2m_0 (\dot{z}_{12}^2 + \dot{z}_{13}^2) + \frac{1}{2} m (\dot{z}_{21}^2 + i^2 \dot{\phi}_{26}^2) + 2m_0 (\dot{z}_{22}^2 + \dot{z}_{23}^2); \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Pi = & 2 \frac{1}{2} c_{11} (z_{11} + a\phi_{16})^2 + 2 \frac{1}{2} c_{12} (z_{11} - b\phi_{16})^2 + \\ & + 2 \frac{1}{2} c_3 (z_{12} + z_{13})^2 + 2 \frac{1}{2} c_{21} (z_{21} + c\phi_{26})^2 + \\ & + 2 \frac{1}{2} c_{22} (z_{21} - d\phi_{26})^2 + 2 \frac{1}{2} c_3 (z_{22} + z_{23})^2, \quad (2) \end{aligned}$$

где  $m$  – масса рабочей клетки автоматического стана;  $m_0$  – масса опорного узла рабочей клетки автоматического стана;  $c_{11}$ ,  $c_{12}$ ,  $c_{21}$  и  $c_{22}$  – приведенные жесткости соответственно передней и задней частей опорных узлов рабочей клетки стана;  $c_3$  – приведенная жесткость тумб (шин) механизма удержания рабочей клетки;  $z_{11}$ ,  $z_{12}$  – ди-

намические перемещения центра масс рабочей клетки автоматического стана в вертикальной плоскости;  $z_{21}$ ,  $z_{22}$  – динамические перемещения передней части рабочей клетки автоматического стана в вертикальной плоскости;  $z_{13}$ ,  $z_{23}$  – динамические перемещения опорных узлов (шин или тумб) рабочей клетки автоматического стана в вертикальной плоскости;  $\varphi_{16}$ ,  $\varphi_{26}$  – угловые перемещения станины рабочей клетки стана вокруг осей  $x$  и  $y$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – параметры расположения центра масс рабочей клетки в выбранной системе отчета;  $e$  – расстояние от оси  $x$  до точки приложения технологической нагрузки  $P_{(t)}$  со стороны прокатываемой гильзы. Из [3] известно, что технологическая нагрузка, действующая со стороны очага деформации на валки рабочей клетки, носит гармонический характер

$$P(t) = P_0 + P_1 \sin(\omega t).$$

Здесь  $P_0$  – статическая составляющая силы прокатки трубы, а  $P_1$  – амплитудное значение данной силы. Отметим, что гармоническая составляющая силы прокатки гильзы имеет соответствующую частоту  $\omega$ , в силу винтовой разности гильзы после прошивного стана.

Используя уравнения Лагранжа, составляем дифференциальные уравнения движения рабочей клетки автоматического стана ТПА. В очередном приближении для принятой динамической модели механической системы с четырьмя степенями свободы в постановке задачи Коши запишем

$$m \frac{d^2 z_{11}(t)}{dt^2} + 2c_{11}(z_{11}(t) - z_{12}(t) + a\varphi_{16}(t)) + 2c_{12}(z_{11}(t) - z_{12}(t) - b\varphi_{16}(t)) = 0;$$

$$z_{11}(0) = 0, 01; \quad \frac{dz_{11}(0)}{dt} = 0;$$

$$2m_0 \frac{d^2 z_{12}(t)}{dt^2} + 2c_{11}(z_{11}(t) - z_{12}(t) + a\varphi_{16}(t)) + 2c_3 z_{13}(t) = 0;$$

$$z_{12}(0) = 0; \quad \frac{dz_{12}(0)}{dt} = 0;$$

$$2m_0 \frac{d^2 z_{13}(t)}{dt^2} + 2c_{12}(z_{11}(t) - z_{12}(t) - b\varphi_{16}(t)) + 2c_3 z_{13}(t) = 0;$$

$$z_{13}(0) = 0; \quad \frac{dz_{13}(0)}{dt} = 0;$$

$$mi_1^2 \frac{d^2 \varphi_{16}(t)}{dt^2} + 2c_{11}a(z_{11}(t) - z_{12}(t) + a\varphi_{16}(t)) - 2c_{12}b(z_{11}(t) - z_{12}(t) - b\varphi_{16}(t)) = (P_0 + P_1 \sin(\omega t))e;$$

$$\varphi_{16}(0) = 0, 015; \quad \frac{d\varphi_{16}(0)}{dt} = 0.$$

$$m \frac{d^2 z_{21}(t)}{dt^2} + 2c_{21}(z_{21}(t) - z_{22}(t) + c\varphi_{26}(t)) + 2c_{22}(z_{21}(t) - z_{22}(t)d\varphi_{26}(t)) = 0;$$

$$z_{21}(0) = 0, 01; \quad \frac{dz_{21}(0)}{dt} = 0;$$

$$2m_0 \frac{d^2 z_{22}(t)}{dt^2} + 2c_{21}(z_{21}(t) - z_{22}(t) + c\varphi_{26}(t)) + 2c_3 z_{23}(t) = 0;$$

$$z_{22}(0) = 0; \quad \frac{dz_{22}(0)}{dt} = 0;$$

$$2m_0 \frac{d^2 z_{23}(t)}{dt^2} + 2c_{22}(z_{21}(t) - z_{22}(t) - d\varphi_{26}(t)) + 2c_3 z_{23}(t) = 0;$$

$$z_{23}(0) = 0; \quad \frac{dz_{23}(0)}{dt} = 0;$$

$$mi_2^2 \frac{d^2 \varphi_{26}(t)}{dt^2} + 2c_{21}c(z_{21}(t) - z_{22}(t) + c\varphi_{26}(t)) - 2c_{22}d(z_{21}(t) - z_{22}(t) - d\varphi_{26}(t)) = 0;$$

$$\varphi_{26}(0) = 0,015; \quad \frac{d\varphi_{26}(0)}{dt} = 0, \quad (3)$$

где  $i_1$  – радиус инерции рабочей клетки относительно оси  $x$ ;  $i_2$  – радиус инерции рабочей клетки относительно оси  $y$ .

Далее решение системы дифференциальных уравнений (3) реализуем численно, методом Рунге-Кутта в среде программного продукта *Matscad*, для наиболее распространенной первой формы колебаний механической системы «рабочая клеть – механизм удержания клетки».

Динамические особенности функционирования рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 с учетом принципа суперпозиции линейных и угловых перемещений механической системы

$$z_1(t) = z_{11}(t) + z_{21}(t); \quad z_2(t) = z_{21}(t) + z_{22}(t);$$

$$z_3(t) = z_{31}(t) + z_{32}(t) \text{ и } \varphi_6(t) = \varphi_{16}(t) + \varphi_{26}(t)$$

представлены на рис. 5. Сопоставление результатов численного расчета (рис. 5) и эксперимен-

тальных исследований (рис. 3) показывает, что дифференциальные уравнения (3) с достаточно высокой степенью точности описывают вынужденные колебания рабочей клетки на опорных механизмах автоматического стана ТПА 350. Амплитудно-частотные характеристики динамических процессов при колебаниях рабочей клетки за время реализации всего технологического процесса прокатки гильзы на автоматическом стане ТПА 350 превышают допустимый уровень виброактивности механической системы.

Известно, что в ходе реализации технологического процесса высокая динамичность системы «рабочая клеть автоматического стана ТПА – механизм её удержания» обуславливает формирование повышенной разностенности гильзы [5]. На последующих участках воздействия на обрабатываемое изделие процесс носит сложный и трудно устранимый характер. Очевидно, что учет динамики рабочей клетки и интенсивности воздействия со стороны очага деформации стана являются определяющими параметрами в рамках рассматриваемой модели. Следует отметить, что возможность математического моделирования различных режимов прокатки

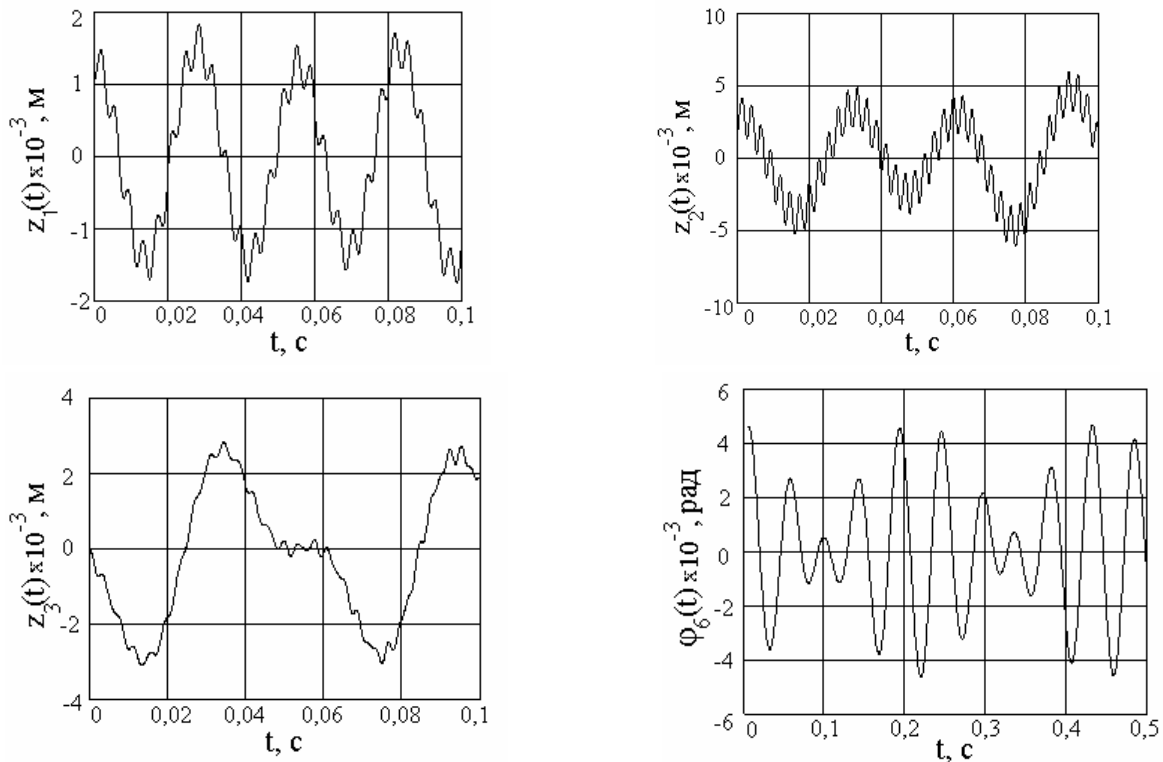


Рис. 5. Динамика рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 (прокатка черновой трубы диаметром 273×6,3 мм, материал – сталь 20):  $z_1(t)$  – суммарные линейные смещения центра масс рабочей клетки на опорах;  $z_2(t)$  – суммарные линейные смещения передних лап рабочей клетки на опорах;  $z_3(t)$  – суммарные линейные смещения задних лап рабочей клетки на опорах;  $\varphi_6(t)$  – суммарные угловые перемещения рабочей клетки стана

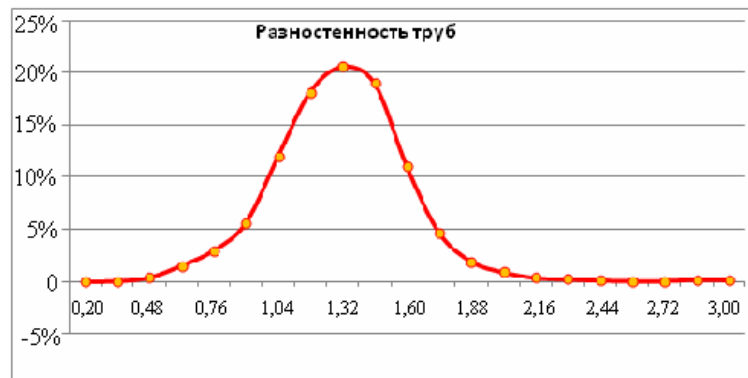
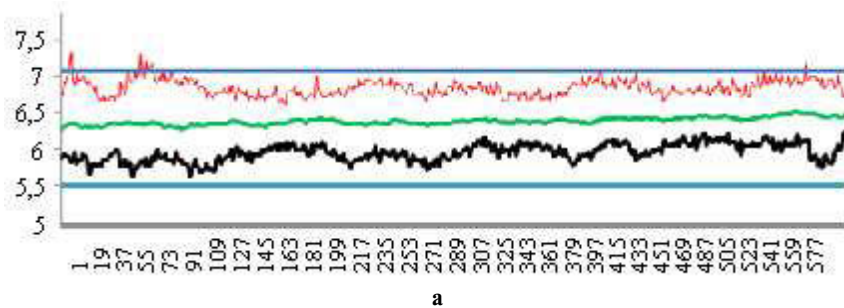


Рис. 6. Результаты стенкометрии (а) и распределение продольной разностенности труб (б) размером 273×6,3 мм после ремонта механизма удержания рабочей клетки автоматического стана ТПА 350

гильзы на этапе проектирования технологических процессов прокатки труб на автоматическом стане ТПА существенно отличает полученные результаты от результатов ранее известных работ в области исследования динамики и виброактивности упругих подсистем рабочей клетки и механизма ее удержания на опорных узлах стана.

Для получения объективной картины изменения качественных характеристик прокатаемых труб до и после восстановления (ремонта) клетки автоматического стана ТПА 350 и была произведена оценка данных толщинометрии труб, прокатанных в разное время (до и после ремонта механизма удержания рабочей клетки соответственно).

На рис. 6 приведена картина изменения разностенности по длине партии черновых труб, прокатанных на автоматическом стане ТПА 350 [5].

#### **Выводы**

Уточнена расчетная схема взаимосвязанных механических подсистем рабочей клетки автоматического стана ТПА и разработана математическая модель динамики для механической системы «рабочая клетка – механизм удержания клетки» для механической системы с четырьмя степенями свободы. Учтены циклический харак-

тер технологических нагрузок и динамические характеристики базовых элементов (шин, тумб и анкерov) механизма удержания рабочей клетки автоматического стана ТПА на соответствующих опорных плоскостях. Приведены результаты численного решения дифференциальных уравнений перемещений узловых элементов рабочей клетки автоматического стана ТПА. Это позволило в комплексе оценить амплитудно-частотные характеристики, как рабочей клетки автоматического стана, так и подсистем опорных узлов клетки.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Технология* трубного производства. Учебник для вузов / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. – М.: Интермет, 2002. – 640 с.
2. *Кожевников С.Н.* Динамика нестационарных процессов в машинах. – К.: Наукова думка, 1986. – 288 с.
3. *Рахманов С.Р., Любин Н.В.* Динамика рабочей клетки автоматического стана трубoproкатного агрегата // *Вибрация в технике и технологиях*. – 2016. – № 1(81). – С.105-112.
4. *Вышинский В.Т., Поворотный В.В., Мокиевец А.В.* Динамическая модель рабочей клетки чистой группы НТЛС – 1680 // *Пластическая деформация металлов*. – Днепропетровск: Пороги 2014. – Т.2. – 262 с.

5. Технический отчёт мониторинга пространственного положения клетки в процессе эксплуатации с регистрацией динамических смещений и углов отклонения клетки автоматстана ТПА 350. – Никополь 2018. – 287 с.

Поступила в редакцию 12.11.2018

## ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОБОЧОЇ КЛІТИ АВТОМАТИЧНОГО СТАНУ ТРУБПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ

Рахманов С.Р., Вишинський В.Т., Пача С.В.

Найбільш вузьким місцем агрегату для виробництва безшовних гарячекатаних труб є автоматичний стан. Складнощі аналізу явищ, що відбуваються в осередку деформації цього стану, обумовлені тим, що на оброблюваний виріб спільно з валками і оправкою впливає стержневий механізм утримання оправки на осі прокатки. Це формує специфічні початкові умови не лише протікання технологічного процесу, але і обумовлюють складну поведінку робочої кліти. Найменш вивченими серед процесів, супроводжуючих процес прокатки гільз на автоматичному стані, є поведінка комплексу, що включає станину робочої кліти з усіма механізмами її утримання. Дослідження умов експлуатації трубпрокатного агрегата (ТПА) з автоматичними станами показує, що їх відмінною особливістю від інших станів технологічного циклу прокатки безшовних труб є наявність нестационарних динамічних процесів. При цьому навантаження в періоди захоплення гільзи, наприклад, на автоматичному стані ТПА 350, в 3–5 разів перевершують навантаження при процесі прокатки, що встановився. Математична модель процесу взаємодії прокатуваної заготовки з елементами робочої кліти, що розглядається у відомих роботах, не дозволяє повністю надати особливості функціонування робочої кліти в процесі прокатки гільзи. Наведені результати дослідження уточненої динамічної моделі цього комплексу автоматичного стану трубпрокатного агрегата ТПА. Отримані картини віброактивності елементів робочої кліти і опорних вузлів механізму утримання цієї механічної системи. На прикладі розрахунку динаміки робочої кліти автоматичного стану ТПА 350 встановлені деякі особливості функціонування механічної системи з чотирма ступенями свободи. Виявлені параметри динамічності робочої кліти автоматичного стану і механізму її утримання, що впливають на значення такого важливого параметра як різностінність прокатуваних гільз. Це дозволило сформулювати пропозиції з вдосконалення вузлів системи утримання робочої кліти автоматичного стану ТПА 350.

**Ключові слова:** агрегат для виробництва безшовних гарячекатаних труб, осередок деформації автоматичного стану, станина робочої кліти, механізми утримання робочої кліти, нестационарні динамічні процеси, картини віброактивності, різностінність гільз.

## FEATURES OF FUNCTIONING OF THE WORKING STAND OF THE AUTOMATIC MILL IN THE PIPE-ROLLING UNIT

Rakhmanov S.R.<sup>a</sup>, Vyshynskiy V.T.<sup>a</sup>, Pacha S.V.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

<sup>b</sup> Industrial Group “Technology”, Zaporozhye, Ukraine

The bottleneck of unit for production of seamless hot-rolled pipes is an automatic mill. The complexity of the analysis of the phenomena occurring in the deformation zone of the automatic mill, due to the fact that the core product, together with the rollers and the

mandrel, is affected by the core mechanism for holding the mandrel on the rolling axis. This fact forms a specific initial conditions not only for the flow of the process, but also determines the complex behavior of the working stand. The least studied among the processes accompanying the process of rolling sleeves on an automatic mill are the behavior of the complex, including the frame of the working stand with all its containment mechanisms. Studies of the operating conditions of pipe-rolling unit (PRU) with automatic mills shows that their distinctive feature in the technological cycle of rolling seamless pipes is the presence of non-stationary dynamic processes. In this case, the loads during the periods of capturing the liner, for example, on an automatic PRU 350 mill, are 3–5 times greater than the loads during the steady rolling process. The mathematical model of the process of interaction of the rolled billet with the elements of the working stand, which is considered in the well-known works, does not allow to fully represent the features of the functioning of the working stand in the process of rolling the liner. The results of the study of the refined dynamic model of this complex of an automatic mill of a PRU tube rolling mill are given. Pictures of the vibroactivity of the elements of the working stand and supporting units of the mechanism for holding the mechanical system are obtained. On the example of calculating the dynamics of the working stand of an automatic PRU 350 mill, some features of the functioning of a mechanical system with four degrees of freedom are established. The dynamic parameters of the working stand of the automatic mill and the mechanism of its retention, affecting the value of such an important parameter as spacing of rolled sleeves are revealed. This allowed us to formulate proposals for improving the components of the retention system of the working stand of the automatic machine PRU 350.

**Keywords:** pipe-rolling unit (PRU), the deformation center of the automatic mill, the base of the working stand, the mechanisms of holding the working stand, non-stationary dynamic processes, pictures of vibroactivity, the difference thickness of the rolled sleeve.

## REFERENCES

1. Danchenko V.N., Kolikov A.P., Romancev B.A., Samusev S.V. *Tehnologia trubnogo proizvodstva. Uchebnik dlya vuzov* [Technology of pipe production. Textbook for institutions of higher learning.] Moskva: Intermet, 2002. 640 p. (in Russian).
2. Koshevnikov S.N. *Dinamika nestacionarnih procesov v mashinakh* [A dynamics of transients is in machines] Kiev, Naukova dumka, 1986. 288 p. (in Russian).
3. Rakhmanov S.R., Lubin N.V. *Dinamika rabochei kleti avtomaticheskogo stana truboprokatnogo agregata* [Dynamics of working stand of automatic figure of aggregate for the production of seamless hot-rolled pipes] Kiev: A vibrations is in a technique and technologies, 2016, no. 1(81), pp.105–112. (in Russian).
4. Vyshynskiy V.T., Povorotniy V.V., Mokievec A.V. *Dinamicheskay model rabochey kleti chistovoy grupi NTL5-1680* [Dynamic model of working stand of clean group NTL5-1680]. Dnepropetrovsk: Porogi, 2014. pp.61–66. (in Russian).
5. *Tehnicheskij otchet monitoringa prostranstvennogo polozhenia kleti v processe ekspluatatsii s registratsiey dinamicheskikh smeshcheniy i uglov otklonenya kleti avtomatstana TPA 350* [Technical report of monitoring of spatial position of cage in the process of exploitation with registration of dynamic displacements and corners of rejection of cage of automatic figure of aggregate for the production of seamless hot-rolled pipes] Nikopol, 2018. 287 p. (in Russian).