



Рахманов С. Р.

Тополов В. Л.

Национальная  
металлургическая  
академия  
Украины

УДК 621.774.34

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОАКТИВНОСТИ СТАНОВ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТА ТПА 140

*Изложена методика проведения и приведены результаты комплексных экспериментальных исследований виброактивности приводов и оборудования выходной стороны станов винтовой прокатки труб ТПА 140. Проведена оценка динамического состояния прошивного и раскатных станов ТПА 140.*

*A conducting method is expounded and the results of complex experimental researches of vibration drives and equipment of output side of figures of the spiral rolling of pipes of ТПА 140 are resulted. The estimation of the dynamic state of sewing and roll figures of ТПА 140 is conducted.*

Неудовлетворительные условия функционирования основного и вспомогательного оборудования прошивного и раскатных станов (станов винтовой прокатки труб) трубопрокатного агрегата (ТПА) 140 за длительный период эксплуатации, отсутствие некоторых данных о виброактивности и нагружения отдельных элементов станов обусловили необходимость проведения экспериментальных исследований в реальных производственных условиях. При подготовке программы и проведении комплексных экспериментальных исследований станов винтовой прокатки труб ТПА 140 был учтен опыт проведения аналогичных работ и результаты ранее проведенных экспериментальных исследований, широко представленные в литературных источниках [1, 2].

В силу того, что в технологической цепочке производства бесшовных труб на ТПА 140 прошивной стан занимает важное место, особый интерес представляет исследование энергосиловых параметров и виброактивности технологического оборудования стана. Отсутствие в отечественной и зарубежной литературе банка данных, касающегося виброактивности оборудования прошивного стана при прокатке труб различных

типоразмеров, имеющихся в сортаменте ТПА 140 [3, 4], также вызвало необходимость дополнительных исследований агрегата в производственных условиях.

Опыт эксплуатации оборудования прошивного стана рассматриваемого ТПА 140 показывает, что стойкость его деталей и узлов гораздо ниже, чем на других станах аналогичного назначения. Это вызвало необходимость более обстоятельно подойти к изучению характера нагружения его механизмов, учесть отдельные особенности как технологического, так и конструктивного характера. Оценка прочностных резервов наиболее ответственных узлов прошивного стана также требует знания фактических нагрузок при прокатке труб различного сортамента.

Для определения значений фактических динамических нагрузок на прошивном стане выполнены экспериментальные исследования энергосиловых параметров и виброактивности оборудования главной приводной линии и выходной стороны стана.

При проведении экспериментальных исследований прошивного стана ТПА 140 фиксировались следующие основные параметры системы: крутящие моменты на верхнем и нижнем шпинделях; давление



металла на рабочие валки; осевая нагрузка на стержневую систему механизма удержания оправки; ток двигателя главного привода; температура и разностенность прокатываемых гильз; виброактивность опорных механизмов (центрователей) стержневой системы выходной стороны; неравномерность хода элементов главной приводной линии; перемещение в вертикальной плоскости и виброактивность шпинделей с кассетой рабочих валков. Отметим, что конструктивные особенности прошивного стана не позволили измерить момент сил упругости на быстроходном валу редуктора главного привода.

В ходе проведения экспериментальных исследований запись измеряемых параметров производилась с помощью различных приспособлений и комплекта тензометрической аппаратуры, в состав которого непосредственно входили: четырехканальные усилители ТА-3, светочувствительный осциллограф Н-115. Запись производилась на 120 мм светочувствительную осциллографическую бумагу.

Для измерения величины давления металла на рабочие валки использовались специально сконструированные месдозы, на образующей поверхности которых по известной методике [5] было наклеено по 4 проволочных датчика с базой 20 мм, которые соединялись по полумостовой схеме. Для надежного предохранения от внешних воздействий датчики были защищены слоем эпоксидной смолы и специальным кожухом с уплотнениями.

Предусматривалась также месдозы в пяте, что позволило обеспечить нормальную ее работу при внецентровом приложении нагрузки со стороны очага деформации.

Тарировка месдоз производилась до и после экспериментальных исследований на 100-тонном гидравлическом прессе с предварительной отработкой всех режимов нагружения.

Мездозы для замера величины давления металла на валки располагались между нажимным винтом и кассетой рабочих валков в пределах барабанов механизма их установки в процессе прокатки. Это позволило осуществить непрерывный контроль измеряемых параметров в ходе прокатки труб из сталей различных марок.

Давление металла на стержневую систему оправки и упорный подшипник измерялось посредством проволочных датчиков с базой 30мм, наклеенных на несущий рычаг замка упорной головки

упорнорегулировочного механизма. Непосредственным нагружением упорной головки с помощью гидравлического домкрата (500 кН), осуществлялась тарировка.

Крутящие моменты на шпинделях приводной линии прошивного стана измерялись при помощи проволочных датчиков на бумажной основе с базой 20мм, наклеенных непосредственно на шпиндели. При этом использовались струнные токосъемники. Токосъемные кольца были закреплены непосредственно на шпинделе со стороны шестеренной клетки вблизи уравновешивающего устройства.

Для уменьшения нагрева и износа струн токосъемные кольца, в отличие от известных схем, охватывались двумя струнами с малым углом охвата.

Во избежание влияния переходных процессов в токосъемных устройствах и увеличения точности процесса замера применялся метод наклейки датчиков по мостовой схеме. Тарировка мостовой схемы для измерения моментов на шпинделях производилась с помощью специального рычага, связанного через 5 – тонный динамометр со вспомогательным подъемным механизмом мостового крана.

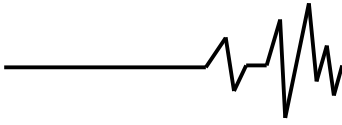
Осциллографирование величины тока двигателя главного привода прошивного стана осуществлялась соединением одного из каналов осциллографа с выводами амперметра пульта управления.

Неравномерность хода элементов приводной линии фиксировалась с помощью стандартных тахогенераторов, соединенных со стороны рабочей клетки непосредственно с муфтой верхнего рабочего валка, с другой стороны – с главной муфтой быстроходного вала редуктора.

Перемещение шпинделя совместно с уравновешивающим устройством измерялось с помощью линейных реохордов.

Вибрации стержневой системы и опорных механизмов центрователей выходной стороны фиксировались с помощью тензометрических акселераторов, рассчитанных соответственно на ускорения 10g и 5g. Акселерометры на корпусах откидных головок центрователей устанавливались таким образом, чтобы плоскость консольной балки была перпендикулярна направлению оси прокатки и стержня.

Во избежание появления дополнительных погрешностей особое внимание уделялось правильности установки акселерометров на корпусных деталях других центрователей. Причем первый и второй



центрователи были снабжены акселерометрами с ускорением 10 g, а третий – с ускорением 5 g. Для повышения точности измерений в ходе прокатки труб различного сортамента они регулярно менялись местами.

Показатели температуры металла в процессе прошивки были зафиксированы на осциллографе путем использования цехового прибора ФЭП – 2.

Колебания шпинделей привода прошивного стана измерялись при помощи датчика ускорения (акселерометра), установленного на подшипниковой опоре уравновешивающего устройства шпинделя главного привода.

При проведении экспериментальных исследований на прошивном стане получено более 300 осциллограмм, отражающих количественную картину технологических и качественную картину динамических параметров при реализации различных режимов прокатки труб.

Разностенность прошиваемых труб измерялась рентгеновским толщинометром и непрерывно фиксировалась путем осциллографирования в ходе прошивки для некоторых заранее выбранных партий, согласно техническим условиям.

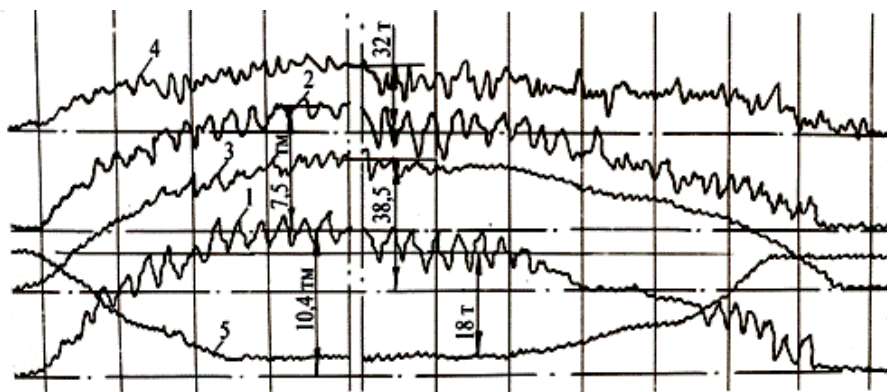
Анализ полученных данных (рис. 1) показывает, что рост нагрузок происходит относительно плавно, без явно выраженных пиков. Однако при выбросе заготовок из валков для труб из сталей некоторых марок и конкретных геометрических размеров

(диаметром 133×8) наблюдается заметный рост моментов на шпинделях приводной линии давления металла на рабочие валки и стержневую систему (примерно на 10 – 25%). Это может быть объяснено наличием на конусе прошивки зон скольжения, существенно изменяющих соотношения кинематических и силовых параметров при подаче гильзы в очаг за полуоборот валка. При этом сказывается также снижение температуры конца обрабатываемой заготовки.

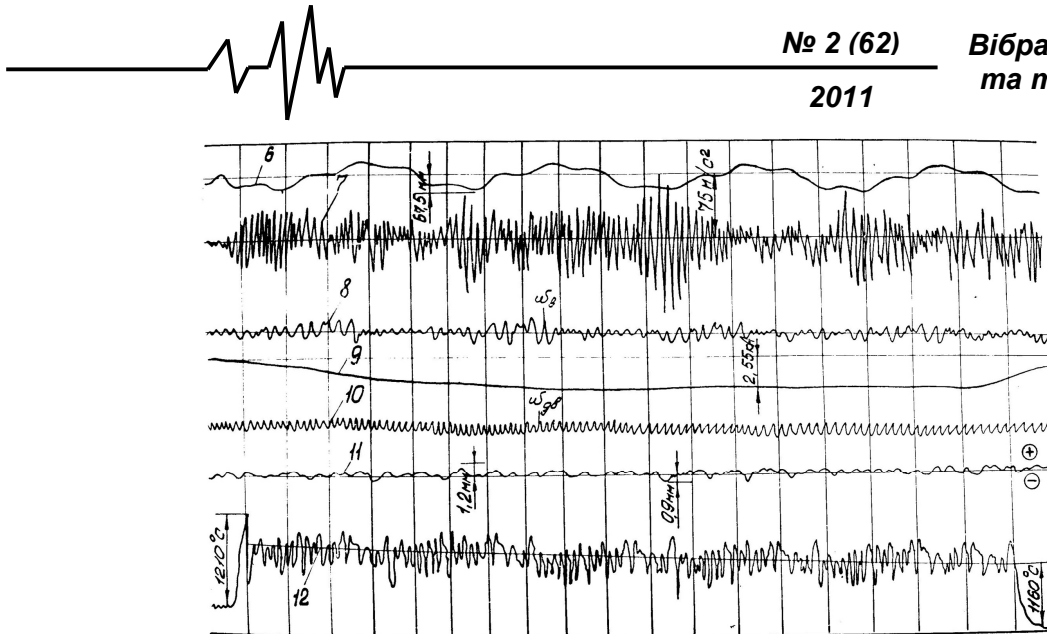
Явно выраженный установившийся характер изменения моментов сил упругости на шпинделях привода свидетельствуют о наличии в приводе автоколебаний со значительной амплитудой. Развитие в валопроводе привода колебаний, характерных для автоколебательного процесса обусловлено во многом неравномерностью хода приводных элементов, связанных шарнирами Гука. Известно, что автоколебательные процессы существенно влияют на срок службы механического оборудования, более того, приводят к изменению величины подачи заготовки в очаг деформации. Это усложняет динамические явления, связанные с вибрациями стержня механизма удержания оправки и сказывается на качестве гильз.

Недостаточная жесткость и демпфирующие свойства стержня механизма удержания оправки приводят к тому, что давление металла на упорный подшипник со временем стабилизируется.

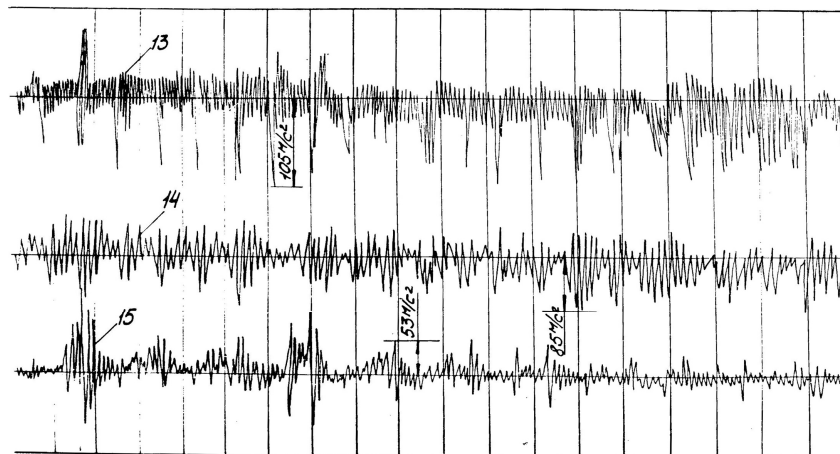
Типовые осциллограммы, приведенные на рис. 1, 2, 3, подтверждают сказанное выше.



**Рис. 1. Осциллограмма нагрузок на прошивном стане ТПА 140 (интервал времени – 0.1 с): 1 – момент на нижнем шпинделе; 2 – момент на верхнем шпинделе; 3, 4 – давление металла на валки; 5 – давление на упорный подшипник**



**Рис. 2. Осциллограмма экспериментальных исследований оборудования прошивного стана ТПА 140 (интервал времени – 0.1 с): 6 – перемещение шпинделя с уравнивающим устройством; 7 – виброускорение верхнего шпинделя; 8 – угловая скорость рабочего валка; 9 – ток двигателя главного привода; 10 – угловая скорость двигателя главного привода; 11 – разностенность гильз; 12 – температура по длине гильзы**



**Рис. 3. Осциллограмма виброактивности опорных механизмов центрователей стержня оправки прошивного стана ТПА 140 (интервал времени – 0.1 с): 13 – виброускорение первого центрователя; 14 – виброускорение второго центрователя; 15 – виброускорение третьего центрователя**

Максимальное значение нагрузок и других параметров, зафиксированных на осциллограммах при прокатке труб диаметром 140×25 из стали 45 следующие: крутящий момент на нижнем шпинделе – 98 кНм; суммарное давление металла на валки – 875 кНм; давление металла на стержневую систему и упорный подшипник – 230 кН; температура по длине гильзы – 1210 °С; ток двигателя главного привода – 2,54 кА; виброускорение верхнего шпинделя – 7,5 м/с<sup>2</sup>; виброускорение соответственно первого – 105 м/с<sup>2</sup>, второго – 85 м/с<sup>2</sup> и третьего центрователей – 55 м/с<sup>2</sup>;

неравномерность хода привода достигала – 28%; максимальное перемещение шпинделя с уравнивающим устройством – 67,5 мм; разностенность прошиваемых труб в пределах +1,2 и –0,9 мм.

Необходимо отметить, что при проведении экспериментальных исследований выявлены некоторые случаи нарушения технологического режима. Особенно заметно влияние роста динамических нагрузок приводной линии и виброактивности в целом оборудования выходной стороны на качество полученных гильз (Ø133×8, сталь, ст.20).



Установлено полное соответствие увеличения характеристик стана и наведенной разностенности обрабатываемых гильз. Стабильный режим прошивки, при прочих равных условиях реализуется при углах подачи рабочих валков  $9^\circ \div 11^\circ$ . При этом виброактивность стержневой системы изменяется в допустимых пределах, и полученные гильзы в основном удовлетворяют требованиям ГОСТов.

Необходимо отметить, что в силу особенностей функционирования и отсутствие необходимых данных о состоянии виброактивности и энергосиловых параметрах, экспериментальное исследование оборудования раскатных станов ТПА 140 представляет особый интерес.

Для выявления динамических особенностей и прочностных резервов раскатных станов проведены аналогичные экспериментальные исследования энергосиловых параметров, виброактивности оборудования приводной линии и выходной стороны станом.

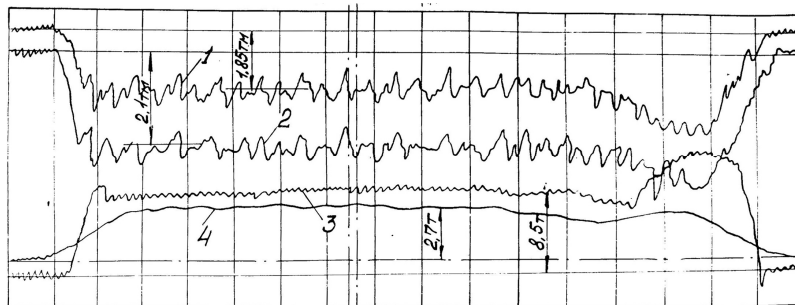
Имеющиеся как в отечественной, так и зарубежной литературе данные не

устанавливают четких зависимостей между технологическими и динамическими параметрами раскатных станом [6, 7]. Отмечаются только нестабильные условия нагружения приводной линии раскатных станом ТПА140.

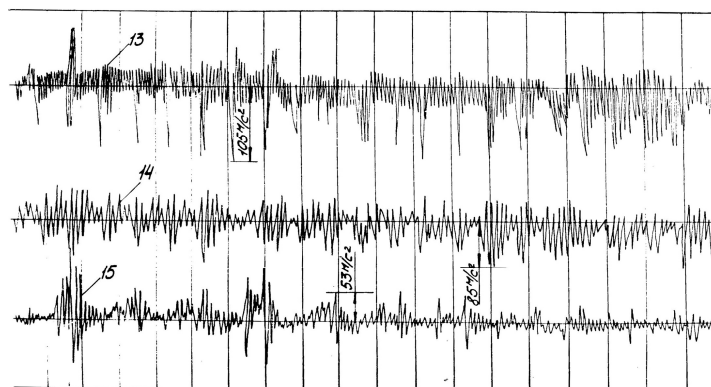
Зависимость геометрических размеров труб от изменения динамических параметров оборудования раскатных станом весьма существенна и её необходимо учитывать как при конструировании оборудования, так и при его эксплуатации.

Характерные осциллограммы измерения нагрузок и параметров виброактивности оборудования выходной стороны раскатного стана приведены на рис. 4 и рис. 5.

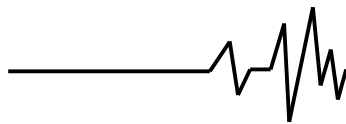
На осциллограммах экспериментальных исследований оборудования раскатного стана №1 ТПА 140 зафиксированы следующие основные параметры: крутящие моменты на шпинделях; давление металла на рабочие валки; давления металла на упорную головку; виброускорения центрователей стержня оправки.



**Рис. 4. Осциллограмма нагрузок на раскатном стане № 1 ТПА 140 (интервал времени – 0.1 с): 1 – момент на верхнем шпинделе; 2 – момент на нижнем шпинделе; 3 – давление металла на валки; 4 – давление на упорную головку**



**Рис. 5. Осциллограмма виброактивности центрователей стержня оправки оборудования выходной стороны раскатного стана №1 ТПА 140 (интервал времени – 0.1 с): 13 – виброускорение первой опоры; 14 – виброускорение второй опоры; 15 – виброускорение третьей опоры**



Несмотря на то, что по сравнению с прошивными станами раскатные станы менее нагружены технологическими нагрузками, в них преобладают динамические нагрузки. Это, безусловно, отражается на стойкости оборудования и качестве прокатываемой трубы.

Обработка экспериментальных данных и их анализ позволили установить следующие максимальные значения основных параметров: давление металла на рабочие валки – 85 кН; давление металла на упорную головку – 27 кН; крутящий момент на шпинделе – 18,5 кНм; ток двигателя главного привода – 120 А; средняя температура металла – 750 °С; виброускорение второго центрователя стержня оправки – 78,0 м/с<sup>2</sup>; максимальное перемещение шпинделя в вертикальной плоскости – 62 мм; виброускорение шпинделя совместно с уравновешивающим устройством – 4,0 м/с<sup>2</sup>; неравномерность хода приводной линии составляет примерно – 28% и продольная разностенность труб в пределах 16÷19%.

Отметим, что периодическое изменение величины момента на шпинделях и неравномерность хода привода в этом случае, безусловно связано как с особенностями поведения шарниров Гука, так и с динамическими явлениями в приводной линии.

Количественная оценка многочисленных данных и качественный анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что технологический процесс прокатки труб как на прошивном стане, так и на раскатных станах ТПА 140 сопровождается высокими динамическими нагрузками. В связи с этим механическое оборудование функционирует в крайне тяжелых условиях нагружения, что требует разработки и внедрения принципиально новых технических решений при дальнейшей модернизации выходной стороны станом, рабочей клетки и привода рабочих валков.

Для обеспечения производительной и качественной работы агрегата при существующих темпах работы необходима частичная замена морально устаревшего оборудования и масштабная модернизация станом.

Отметим, что получение качественных гильз и готовых труб с требуемыми размерами не представляется возможным, если динамические процессы оборудования не будут изменены в заданных пределах. В силу этого требуется реализация конкретных путей реконструкции оборудования прошивного и раскатных станом ТПА 140 и разработка

мероприятий по стабилизации режимов нагружения и эксплуатации оборудования [8].

### Заключение

1. Результаты проведенных исследований и их анализ позволили уточнить характер изменения действительных динамических нагрузок в линиях приводом, уточнить уровень динамического нагружения оборудования выходной стороны прошивного и раскатных станом при различных силовых и скоростных режимах в соответствии с заранее определенными маршрутами по всей технологической линии ТПА 140.

2. Полученные данные по виброактивности приводом и оборудования выходной стороны позволили более полно и в совокупности с энергосиловыми параметрами технологического процесса оценить динамические состояния прошивного и раскатных станом ТПА 140, наметить пути их снижения.

### Литература

1. Потапов И.П., Полухин П.И. Новая технология винтовой прокатки. М.: Металлургия, 1975. – 340 с.

2. Оклея Л.Н. Качество горячекатаных труб. М.: Металлургия, 1986. – 144 с.

3. Данченко В.Н. Технология трубного производства. Учебник для вузов. /В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев // – М.: Интермет - Инжиниринг, 2002. – 640 с.

4. Соловейчик П.М. Трубопрокатные агрегаты с автомат – станом. М.: Металлургия, 1967. – 160 с.

5. Касаткин Б.С. Экспериментальные методы исследования напряжений и деформации. Киев: Наукова думка, 1981. – 584 с.

6. Лордкипанидзе Д.Л., Чхартшвили И.В. Исследование колебания стержня стана поперечно – винтовой прокатки. Сообщения Академии Наук Грузинской ССР, 1977, 88, №1. С.145 – 148.

7. Тетерин П.К. Теория поперечно-винтовой прокатки. М.: Металлургия, 1977. – 366 с.

8. Рахманов С.Р. Динамика стрелковой системы механизма удержания оправки прошивного стана трубопрокатного агрегата. Материалы Международной конференции «Современные направления производства сварных и бесшовных труб из черных и цветных металлов», Днепропетровск. – 2007. С.45 – 51.