УДК 621.774.37:621.774.8

В.И.Большаков, В.Т.Вышинский, Ю.И.Черевик

СОСТОЯНИЕ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ ЗАВОДОВ УКРАИНЫ

Настоящая работа посвящена 100–летию со дня рождения С.Н.Кожевникова, член–корреспондента АН УССР, доктора технических наук, профессора, основателя украинской научной школы по динамике металлургических машин

В конце семидесятых годов прошлого столетия коллективом инженеров–механиков Института черной металлургии им. З.И.Некрасова (ИЧМ) НАН Украины г. Днепропетровск под руководством член–корреспондента АН УССР С.Н.Кожевникова и д.т.н. А.С.Ткаченко проводятся комплексные теоретические и экспериментальные исследования по изучению динамических особенностей работы основных механизмов станов холодной прокатки труб (ХПТ), в результате которых была подготовлена необходимая научно–техническая база и сформулированы технические требования, которым должно отвечать оборудование новых высокопроизводительных станов ХПТ. В последующие годы эти требования были частично реализованы при модернизации существующих или создании новых станов ХПТ.

На трубопрокатных, металлургических и машиностроительных заводах Украины находятся в эксплуатации более 120 станов холодной прокатки труб (ХПТ) различных конструкций и типоразмеров. Это заводы, образовавшиеся на базе Никопольского Южнотрубного, Нижнеднепровский трубопрокатный им. К. Либкнехта, Днепропетровский трубный им. Ленина, Сумское машиностроительное объединение им. М.В. Фрунзе, Артёмовский завод по обработке цветных металлов и др.

Стан ХПТ представляют собой совокупность механизмов периодического действия, которые при помощи трансмиссионных валов объединены в единый технологический комплекс. На рис.1 представлена принципиальная схема станов ХПТ различных типоразмеров, на которых изготавливается практически весь объём холоднокатаных труб диаметрами от 16 мм до 100 мм.

При реализации процесса трансформации трубной заготовки в готовое изделие (элементы трубопроводов химических и энергетических установок, заготовки наружных и внутренних колец подшипников, корпусные детали силовых гидроцилиндров и т.п.) обрабатываемое установленными в подвижной клети валками изделие в периоды прохождения клетью крайних положений периодически осуществляет поступательное и вращательное движения, выполняемые патронами подачи и поворота. Синхронизация операций подачи и поворота с положением клети реализуется распределительно–подающим механизмом.

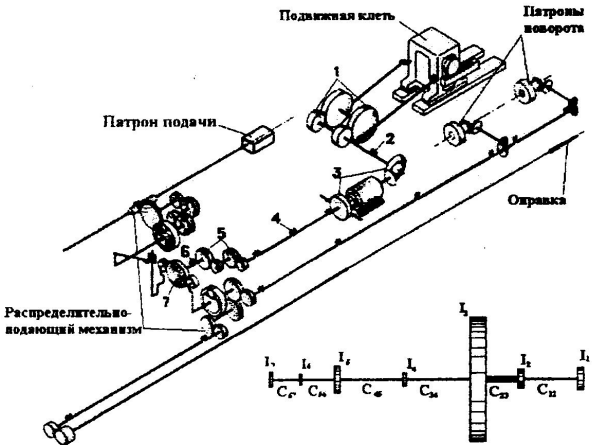

Рис. 1. Кинематическая схема и динамическая модель главной силовой линии станов ХПТ–32, ХПТ–55, ХПТ–75 и ХПТ–90 ЭЗТМ

Из технологической особенности процесса ХПТ следует, что механизмы стана функционируют в различных режимах. Система узлов, объединяющая спаренный кривошипно–ползунный механизм перемещения клети; силовую установку, включающую электродвигатель, угловой редуктор и тормоз; входной редуктор распределительно–подающего механизма; вал шайбы кулачково–рычажного механизма; валы и муфты, соединяющие эти узлы, совершает непрерывное вращательное движение и поэтому для анализа динамических явлений может быть объединена в так называемую главную силовую линию.

На основе статистического материала, собранного в течение более чем тридцатилетнего периода наблюдений за формированием режимов эксплуатации станов ХПТ на различных трубопрокатных заводах Украины и России, определено, что время простоя средне статистического стана ХПТ в ремонте из–за аварийного выхода из строя только деталей главной силовой линии составило около 400 часов в год. А это, кроме материального урона, связанного о ликвидацией последствий аварии, приводит к потере более 30 тыс. метров труб. Всесторонние исследования мест изломов показали, что причинами поломок являются как значительные однократные перегрузки, так и периодические воздействия динамических нагрузок, обусловленных особенностями формирования силового взаимодействия обрабатываемых изделий с системой основных и вспомогательных механизмов, которые определяются не только величинами и характером силовых воздействий, обусловленных технологическими заданиями, но и особенностями динамических характеристик рабочей машины. Анализ критериев надёжности деталей и узлов станов ХПТ позволяет, при сопоставлении условий работы станов с режимами нагружений, наметить и реализовать ряд мероприятий, направленных на повышение работоспособности и долговечности наиболее ненадёжных узлов станов. Конечно,

результаты использования таких разработок будут более значимыми, если при их внедрении будут учтены все факторы, формирующие нагрузочный спектр функционирования машины.

Значительное число отказов деталей рабочей клети, поворотно–подающих механизмов (что подтверждается низкой вероятностью безотказной работы), обусловленных циклическими нагрузками, фрикционным и коррозионным износом – требуют при проектировании прогнозирование отказов, т.е. управления надёжностью, что в свою очередь, предусматривает учёт в расчётных методиках фактора усталости металлов, проявления динамических нагрузок при реализации машиной технологического воздействия на обрабатываемое изделие. На «чистое» нагружение накладываются добавки, обусловленные спецификой кинематических соединений, проявлением зазоров и т.п. Всё это сказывается на накоплении повреждений в деталях машины. Эта информация должна эффективно использоваться на всех стадиях от проектирования до эксплуатации и планирования ремонтов путём уточнения таких критериев, как долговечность, срок службы и др.

При анализе экспериментальных данных о вертикальных составляющих реакций подшипниковых опор станов ХПТ было установлено [1], что в процессе прокатки в подвижном очаге деформации контактное взаимодействие системы «валки – обрабатываемое изделие» формируется таким образом, что кроме вертикальных перемещений, определяемых податливостью системы «валки – подушки валков – узлы предохранительных устройств – рама клети» , валки осуществляют и горизонтальные (вдоль собственной оси) перемещения, определяемые податливостью системы крепления подушек валков в окнах рамных конструкций клетей. Совершая перемещения, валки искажают мгновенное сечение очага деформации. Значения углов отклонений равнодействующей от вертикали в сочетании со значениями вертикальных составляющих реакций опор дают ёмкое представление о динамических особенностях формирования силового взаимодействия элементов очага деформации.

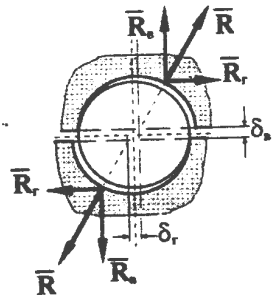

Рис.2. Фрагмент очага деформации.

Приведенные выше исследования позволили критически оценить кинематические схемы широко используемых нажимных устройств станов ХПТ, обеспечивающих замыкание силовых потоков очага деформации в подвижных и неподвижных станинах рабочих клетей, выявить ряд их недостатков и, используя положения оснований структурного синтеза механизмов [2], [3], разработать рациональные нажимные устройства [4], [5] и осуществить их апробацию [6] на станах ХПТ раз-

личных типоразмеров.

Большинство станов ХПТ производства Электростальского завода тяжёлого машиностроения (ЭЗТМ) оснащены боковой загрузкой заготовки и пневматическим уравновешивающим устройством (ПУУ). Последние станы были поставлены на Украину более 15 лет тому назад. В течение последних 20 лет эти станы практически не обновлялись и не совершенствовались. Сложилось такое положение, при котором большинство из них морально и физически устарели и требуют, если не полной замены, то существенной модернизации или капитальных ремонтов. Скоростные режимы их работы в лучшем случае соответствуют нижнему уровню их технических характеристик, а простои, связанные с их техническим обслуживанием и ремонтами, значительно превышают планируемые показатели.

Поскольку в настоящее время наметилась устойчивая тенденция к росту объёмов производства высококачественных труб, получаемых способом ХПТ, то с создавшимся положением мириться больше нельзя. Имеется несколько вариантов решения этой задачи:

1. Установить вновь на станах ХПТ ПУУ нового поколения. Это создаст благоприятные условия для повышения их быстроходности, повысит надёжность и долговечность основных элементов главной силовой линии (кривошипно–ползунного механизма), а также снизит энергозатраты из–за улучшения условий работы главного электродвигателя [7], [8].

2. Заменить существующие клети новыми облегчёнными с повышенной жёсткостью и рациональной конструкцией нажимного устройства. Это снизит инерционные нагрузки, воспринимаемые приводом клети, повысит точность готовой продукции, а также надёжность и долговечность станины клети.

3. Перевод станов с боковой загрузки заготовки на торцевую с одновременной установкой механизма подачи, обеспечивающего непрерываемый процесс прокатки, сведет к минимуму наличие пауз в работе стана, связанных с частой перезарядкой, исключит работу двигателя в переходных режимах (частые пуски и остановки) [9].

В течение 1965... 1985 г.г. станы ХПТ практически на всех трубопрокатных заводах СССР были оснащены ПУУ, разработанными в Институте чёрной металлургии МЧМ СССР под руководством С.Н. Кожевникова и АС. Ткаченко. Этими устройствами были оснащены большинство станов ХПТ–32, ХПТ–55, ХПТ–75, ХПТ–90, ХПТ–250, ХПТ–2–40. Производимые в этот период Электростальским заводом тяжёлого машиностроения новые станы ХПТ обязательно имели ПУУ. Применение ПУУ позволило увеличить темпы работы станов практически в два раза (табл.1).

ПУУ представляет собой один (для станов ХПТ–32 и ХПТ–2–40) или два (для станов ХПТ–55 , ХПТ–75, ХПТ–90 и ХПТ–250) пневмоцилиндра двустороннего действия, устанавливаемых в непосредственной близости от клети (рис.3). Штоки поршней этих цилиндров шарнирно соединены со

станиной подвижной клети. При выполнении ПУУ в виде одного цилиндра он оснащён контрштоком и устанавливается на оси прокатки сразу за лобовиной станины стана. Для пропуска готовой трубы шток и контршток выполняются полыми, а для связи с подвижной клетью шток оснащён специальной траверсой.

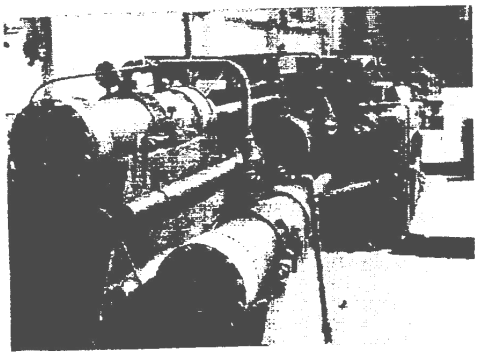

Рис.3. Пневматическое уравновешивающее устройство стана ХПТ–55

У станов ХПТ–2–40 цилиндр ПУУ установлен между шатунами приводного механизма, а шток шарнирно соединён с валковой обоймой. При компоновке ПУУ в виде двух цилиндров они выполнялись без контрштоков и монтировались таким образом, что их оси располагались в горизонтальной плоскости, проходящей через ось прокатки (на стане ХПТ–250), либо в разных уровнях (для станов ХПТ–55, ХПТ–75, ХПТ–90) относительно оси прокатки. Считалось, что одним из достоинств ПУУ была унификация их основных деталей и узлов практически для всего ряда типоразмеров станов. Так, например, внутренний диаметр цилиндров для станов ХПТ–55 , ХПТ–75, ХПТ–90 и его длина выполнялись одинаковыми . Как показал опыт длительной эксплуатации этих устройств, такая унификация сыграла в дальнейшем для ПУУ отрицательную роль. Так как длины хода клетей и их массы для станов ХПТ различных типоразмеров существенно отличаются, то оказалось, что из–за различных степеней сжатия воздуха в рабочих полостях цилиндров, ПУУ станов ХПТ–55 и особенно станов ХПТ–75 и ХПТ–90 работали в тяжёлых температурных режимах. (таблица).

Это потребовало дополнительного оснащения ПУУ станов ХПТ–55 , 75 и 90 системами водяного охлаждения, что несколько усложнило их конструкцию и эксплуатацию. Поскольку воздух, поступающий в полости цилиндров из воздушной цеховой магистрали, не всегда качественно очищался от механических примесей и влаги, то условия работы ПУУ ещё более усугублялись. Это приводило к дополнительному нагреву устройств, ускоренному и неравномерному износу зеркала цилиндра, направляющих и уплотнительных элементов поршня и штока, а также усложняло условия работы системы смазки. Длительная эксплуатация ПУУ показала, что из всей гаммы ПУУ наиболее удачными по конструктивному исполнению и основным режимным параметрам являются ПУУ станов ХПТ–32.

Таблица. Основные конструктивно–эксплуатационные характеристики станов ХПТ конструкции НПО «ЭЗТМ»

Типоразмер стана	ХПТ–32	ХПТ–55	ХПТ–75	ХПТ–90
Темп работы в обычном исполнении (двойных ходов клети в минуту)	80–120	65–90	60–70	60–70
Темп работы с уравновешивающим устройством (двойных ходов клети в минуту)	80–220	60–150	60–120	60–110
Масса клети в кг (усредненное значение)	1950/2050	4050/4150	6350/6450	7750/8150
Ход клети в мм	452	625	705	705
Значение мгновенных температур сжатия воздуха в рабочих полостях, ^{0}C	100–120	140–160	180–200	180–200
Установившаяся температура наружной поверхности корпуса цилиндра, ^{0}C	50–60	70–80	90–100	90–100

Физический износ ПУУ и их демонтаж привели к тому, что скоростные показатели работы станов в настоящее время независимо от типоразмеров составляют в лучших случаях 60...70 двойных ходов клети в минуту.

Обобщив накопленный опыт можно сформулировать основные требования, которым должны соответствовать ПУУ нового поколения:

– оптимизированные конструктивные и режимные параметры для станов каждого типоразмера, исходя из условий их функционирования как в установившемся, так и в переходном режимах работы;

– использование конструкции узлов крепления корпусов пневмоцилиндров на фундаменте и элементов соединения штоков с подвижными станинами клетей, обеспечивающими индифферентность к изменяемости траектории их движения в результате износа элементов направляющих и отвечающие условиям непринуждённой сборки;

– применение современных материалов для направляющих и уплотнительных узлов поршней и штоков.

Необходимость создания ПУУ нового поколения и установка их на станах ХПТ в ближайшем будущем является одним их основных путей резкого увеличения производительности этих агрегатов. Создание скоростных высокопроизводительных отечественных станов ХПТ, которые смогут конкурировать с лучшими зарубежными образцами, возможно только при условии оснащения их ПУУ.

Исполнение приводных механизмов (ПМ) станов ХПТ с двумя парал-

лельно работающими силовыми ветвями (спаренный кривошипно–ползунный механизм) обуславливает появление пассивных связей. Структурное несовершенство этих механизмов является одной из главных причин появления пассивных мощностей, циркулирующих в замкнутых контурах, неравномерного нагружения их основных элементов. Степень неравномерности нагружения деталей и узлов ПМ также определяется жёсткостями вала кривошипного узла и шатунов, точностью их изготовления, качеством сборки, степенью износа кинематических пар. Так, показано [10], что коэффициент неравномерности нагружения шатунов станов ХПТ–32 может быть равным 3...3,5. Узел кривошипов ПМ станов ХПТ–2–40 и ХПТ–2–90, выполненный в виде массивного диска с зубчатым венцом и осью, на хвостовиках которой шарнирно закрепляются шатуны, содержит меньшее количество повторяющихся связей и коэффициент неравномерности нагружения шатунов не превышает 1,05... 1,25 [11].

В результате экспериментальных и теоретических исследований поворотно–подающих механизмов станов холодной прокатки труб, анализа особенностей их эксплуатации установлено, что улучшение количественных и особенно качественных показателей процесса ХПТ возможно при использовании такого поворотно–подащего комплекса (ППК), который может обеспечить, прежде всего, следующие основные требования:

- согласованность срабатывания с заданным положением клети, обеспечивающая не только заполнение очага деформации, но и заданный уровень осевых усилий;
- обеспечение заданных перемещений в широком диапазоне изменения темпов работы стана;
- возможность непрерывного или дискретного варьирования величинами перемещений в широких пределах, не нарушая ведение технологического процесса;
- индифферентность функционирования комплекса по отношению к динамическим особенностям протекания процесса.

Изменение величин подач заготовки приводит не только к изменению точности геометрических размеров труб, но и к разбросу характеристик их механических свойств. Стабильность величин подач – фактор, определяющий наряду с показателями качества и производительность агрегата. Что же касается реализации величин углов поворота системы «заготовка – готовая труба» , то здесь необходимо иметь в виду следующее обстоятельство. При производстве ребристых, плавниковых труб и при использовании станов ХПТ в качестве деталепрокатных агрегатов механизмы поворота должны обеспечить высокую точность позиционирования. При прокатке трубчатых изделий с гладкими поверхностями целесообразно обеспечить изменяемость углов их поворота, что позволяет формировать условия, повышающие долговечность калибров и оправок в результате их равномерного износа по периметру.

С учётом конструктивных особенностей механизмов ППК, особенно-

стей их влияния на протекание процессов ХПТ, механизмы комплекса синтезировались по условиям деформации:

– минимизация количества звеньев и величин масс, участвующих в периодических процессах поступательных и вращательных перемещений;

– совмещение непроизводительных операций, связанных с подготовкой линий подачи и поворота, с работой других механизмов, в циклограммах функционирования которых осуществляется закрепощение системы «заготовка – готовая труба» ;

– обеспечение мобильности регулирования параметров операций подачи и поворота.

В условиях металлургических предприятий были изготовлены и отработаны механизмы ППК оптимальной стереометрии (рис.4, рис.5). Стендовые испытания этих механизмов подтвердили их достаточно высокую работоспособность как в зоне существующих темпов работы отечественных станов ХПТ, так и при существенном их повышении.

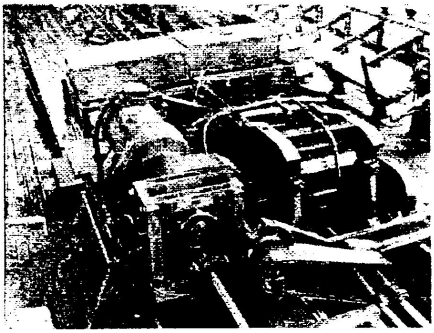

Рис.4. Механизм поворота с эпициклическим преобразователем непрерывного вращения ротора регулируемого электродвигателя в периодический поворот системы «заготовка – готовая труба».

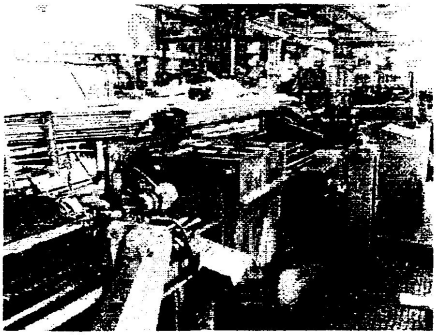

Рис.5. Механизм подачи, установленный на минимально возможном удалении от подвижного очага деформации стана холодной прокатки труб

За время продолжительной эксплуатации разработанных механизмов ППК был выявлен ряд их существенных преимуществ:

- осуществление непрерываемого процесса ХПТ;
- создание условий для реализации способов холодной прокатки труб с регулированием подпора;
- регулирование величины подачи без остановки стана;
- повышение показателей качества готовых изделий и увеличение производительности агрегата вследствие высокой стабильности процесса

подачи;

• управление качественными показателями готового изделия за счёт регулирования величин поворотов системы «гильза – готовое изделие» без остановки стана.

В последние десятилетия в ряде стран усиливаются тенденции к внедрению автоматического контроля параметров технологических процессов ОМД на базе использования обладающих высоким уровнем надёжности компактных силоизмерителей, включаемых в единые системы, содержащие блоки микропроцессорной обработки сигналов по разнообразным алгоритмам. Широкое применение таких технических средств существенно повышает степень контролируемости технологических процессов.Так как процесс ХПТ характеризуется существенной инерционностью [12], то включение в логику работы цепей управления величинами углов поворота и перемещения обрабатываемого изделия информации о нагружении валковых опор, создаёт предпосылки для автоматизации процесса прокатки.

Используя подготовленную научно–техническую базу и накопленный опыт модернизации и совершенствования главной силовой линии, рабочей клети, привода валков, поворотно–подающего механизма, механизма загрузки и средств контроля за давлением металла на валки, удалось подготовить уточненные технические требования, которым должны отвечать новые высокопроизводительные станы ХПТ, организовать производство которых необходимо на отечественных заводах тяжелого машиностроения.

1. *Вышинский В. Т.* Влияние на выходные параметры изделий кинематических и силовых особенностей формирования очага деформации при холодной пилигримовой прокатке ///Теория и практика металлургии. –2000. –№5.–С25–26.
2. *Кожевников С.Н.* Оптимальный структурный синтез механизмов //Машиноведение. М., Машиностроение. – 1977.–№ 6.– С. 48–55.
3. *Кожевников С. Н.* Основания структурного синтеза механизмов. – Киев: Наукова думка, 1979.–232с.
4. *А.с. № 995929 СССР,* МКИ В 21 В 21/00. Нажимное устройствро стана холоднойпрокатки труб /А.С.Ткаченко, М.И.Гриншпун, ВТ.Вышинский, Ю.И.Черевик, О.Я.Рабинович и В.Е.Никитенко (СССР).–№ 3268797/22–02; Заявл. 03. 04. 81; Опубл. 25. 02. 83, Бюл. №6.–4 с.
5. *Ас. № 1148660 СССР*, МКИ В 21 В 21/00. Рабочая клеть стана холодной прокатки труб/ АС.Ткаченко, СМ.Крышин, В.Ф.Орещенко, Л.А.Сафонов,Ю.Л. Лукащук, В.Т.Вышинский и А.В.Цупкин (СССР).–№ 3674757/22–02; Заявл.20.12.83; Опубл.07.04.85, Бюл.№ 13.–4 с.
6. *Разработка* новой конструкции нажимного устройства рабочей клети стана XI IT с целью повышения качества катаных труб / Ю.Л.Калашников, В.Ф.Орещенко, С.М.Крышин, Л.А.Сафонов, В.Т.Вышинский, В.Я.Головачев //Металлург, и горноруд. промышленность.– 1995.–№ 1.–С.61–63..
7. *Динамика* главного привода стана холодной прокатки труб, оснащйнного пневматическим уравновешивающим устройством / С.Н.Кожевников,

А.С.Ткаченко, Ю.И.Черевик // Теория механизмов и машин. Харьков, изд–во ХГУ, 1968. – Вып.5., – С.18–24.

8. *Исследование неравномерности* движения механизма привода клети стана холодной прокатки труб и изыскание путей её понижения / АС.Ткаченко, Ю.И.Черевик // Теория механизмов и машин. Харьков. – Изд–во ХГУ, 1969. – Вып.7. – С.17–23.
9. *Пути повышения производительности* станов холодной прокатки труб / Ю.И.Черевик, АС.Ткаченко, Б..М.Климковский // Металлург. – 1968. –№2. – С. 36–38.
10. *Исследование статически* определимого привода клети стана холодной прокатки труб. /АС.Ткаченко, Р.П.Ермакович, Г.Э.Гохберг, ВТ Вышинский, И.В.Мураш //Металлург. – 1970. –№8. –С.44–45.
11. *О путях уменьшения* динамических нагрузок в механизмах тяжёлых машин периодического действия / Ю.И. Черевик, В.Т. Вышинский// Теория механизмов и машин. Харьков, изд–во ХГУ,1986. – Вып.41. – С.41–47.)
12. *Автоматизация прокатки* стыка труб на стане холодной прокатки / В.Г.Воронько, П.В.Дубинин, Г.Ф.Калинин и др. //АСУТП и АСУП в черной металлургии. М., Металлургия, 1982.–С.81–85.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. С.М.Жучковым