

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт  
Факультет Материаловедения и металлургических технологий  
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Л.В. Радионова

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Тема работы: «Анализ технологии производства горячекатаных бесшовных труб  
высокого качества»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

**ЮУРГУ-22.03.02-2018-091-00.00.00 ПЗ**

*Руководитель работы:  
ст. преподаватель*

\_\_\_\_\_ / М.А. Соседкова /

*Автор работы  
студент группы П-438*

\_\_\_\_\_ / Я.З. Гибадуллин /

Челябинск  
2018

## Аннотация

Гибадуллин Я.З. Анализ технологии  
производства горячекатаных бесшовных  
труб высокого качества  
Челябинск: ЮУрГУ, П-438, 35 с.,  
3 табл., 9 рис., библиогр. список – 10  
наим., 3 л. плакатов ф. А1, А3, А2.

Данная выпускная квалификационная работа выполнена с целью проведения анализа технологии производства горячекатаных бесшовных труб высокого качества.

В выпускной работе представлены основные этапы производства горячекатаных бесшовных труб. Произведен анализ технологического процесса и оборудования трубопрокатного агрегата 8–16" ОАО «ЧТПЗ» и расчет показателей формоизменения металла при калибровании труб на калибровочном стане ТПА 8–16".

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Литературный обзор состояния и развития станов горячей прокатки труб в отечественной и мировой практике .....	5
1.1. Трубопрокатные агрегаты с автоматическим раскатным станом .....	5
1.2. Трубопрокатные агрегаты с непрерывным станом .....	7
1.3. Агрегаты для производства труб на установках с раскатными станами винтовой прокатки, планетарными и реечными станами.....	8
1.4. Трубопрокатные агрегаты с пилигримовым станом .....	11
2. Основные этапы производства горячекатаных бесшовных труб .....	13
3. Анализ технологического процесса и оборудования трубопрокатного агрегата 8-16" ПАО ЧТПЗ .....	18
4. Расчет показателей формоизменения металла при калибровании труб на калибровочном стане 8-16" ПАО ЧТПЗ .....	30
Заключение .....	36
Библиографический список .....	37

## ВВЕДЕНИЕ

Производство труб характеризуется широким разнообразием способов и технологий для производства бесшовных труб. Каждый способ производства имеет свои достоинства и недостатки, но независимо от вида производства горячедеформированных труб технологическая схема включает в себя такие операции как: нагрев металла, получение полой заготовки (гильзы), раскатка гильзы и окончательное формирование стенки и диаметра трубы (калибровка).

Для получения продукции высокого качества наряду с уникальной технологией стоит использование заготовок экономически выгодных и эффективных в использовании. Применение качественной и дешевой непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) является важным фактором конкурентоспособности бесшовных труб на мировом рынке. Широкое применение непрерывнолитой заготовки взамен катаной или литого слитка в сочетании с внепечной обработкой стали позволяет не только значительно улучшить качество труб, но и существенно снизить затраты на их производство.

Бесшовные горячедеформированные трубы находят широкое применение в нефтедобывающей промышленности, топливно – энергетическом комплексе, машиностроении, а также имеют широкий ассортимент производимой продукции.

Виды труб, получаемые горячей деформацией:

- нефтепроводные;
- толстостенные;
- котельные;
- баллонные;
- газлифтные;
- обсадные;
- нержавеющие;
- трубы спецназначения.

Каждый вид трубы, применяемый в той или иной отрасли, имеет свои качественные характеристики, также метод получения и обработки.

В работе рассмотрены существующие методы производства горячедеформированных труб в зарубежной и отечественной практике. Подробное описание дано процессу производства горячедеформированных труб на стане пилигримовой прокатки на примере прокатного цеха №1 ПАО ЧТПЗ, описаны процессы обработки трубы, приведены характеристики трубопрокатного оборудования. Произведен расчет показателей формоизменения металла при калибровании труб на калибровочном стане.

# 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ТРУБ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И МИРОВОЙ ПРАКТИКЕ

Уровень развития трубного производства в России и за рубежом характеризуется большим разнообразием применяемых способов и технологий для производства бесшовных труб. Применяются трубопрокатные агрегаты с автоматическими, непрерывными, пилигримовыми, раскатными станами, а также трехвалковыми станами винтовой прокатки, реечными планетарными станами и трубопрофильными прессами. Выбор технологических схем и способов обработки определяется физическими свойствами обрабатываемого металла, требуемым качеством и размерами изделия, экономичностью производства, рациональной загрузкой существующего оборудования [5].

В характеристиках трубопрокатных агрегатов (ТПА) обычно указывают цифры, которые обозначают диаметр готовых труб (масштабный или минимальный), получаемых на данном агрегате, например ТПА140, 250, 400, или ТПА 30–102, или ТПА 4 и 10" и т.д. В первом случае цифры указывают минимальный диаметр труб, прокатываемых на ТПА с автоматическим станом, во втором и третьем – минимальный и максимальный диаметр труб, получаемых на агрегатах с непрерывным и пилигримовым станом.

## 1.1. Трубопрокатные агрегаты с автоматическим раскатным станом

В цехах, где установлены агрегаты с автоматическим станом, производят бесшовные трубы широкого сортамента из углеродистых, легированных и высоколегированных сталей как по видам, так и по типоразмерам различного назначения. Основное достоинство агрегатов с автоматическим станом заключается в возможности прокатки труб небольшими партиями при сравнительно высоких технико-экономических показателях работы агрегата.

Трубные станы имеют каскадное расположение. Каждый последующий стан находится на более низком уровне, а перемещение трубы от одного стана к

другому осуществляется перекачиванием по наклонным стеллажам. При такой планировке оборудования отсутствуют встречные потоки в технологическом процессе; минимальны пути движения труб в процессе их изготовления; создается хороший обзор оборудования и заготовки трубы с минимальным количеством пультов управления; обеспечены условия для организации одновременной перевалки технологического инструмента всех станов ТПА; обеспечены необходимые условия для нормальной эксплуатации всего оборудования; минимальна протяженность магистральных масло-, мазуто-, паро-, водопроводов, пневмомагистралей и т. д.

В США работает ТПА 400, в котором параллельно с автоматическим станом установлены трехвалковый стан винтовой прокатки Ассела, а также стан-расширитель. После прокатки труб на стане-расширителе достигается увеличение их диаметра до 660 мм.

В США на заводе фирмы LTV Steel в Кэмбелле проведена реконструкция ТПА 400 с установкой двух одноручьевых последовательно расположенных клеток автоматического стана. В результате такой реконструкции годовой объем производства труб диаметром 152...358 мм возрос до 658 тыс. т.

За рубежом на ТПА в качестве заготовки применяют непрерывно-литые круглые заготовки, иногда – квадратные. Так, в Японии на заводе фирмы «Син Ниппон сэйтэцу» в г. Явата построен ТПА с автоматическим станом, отличительной особенностью которого является использование квадратной заготовки, которая прошивается в гильзу-стакан на пресс-валковом прошивном стане и деформируется в двух последовательно расположенных станах винтовой прокатки – элонгаторах и раскатывается в автоматическом стане. На этом агрегате производят трубы диаметром 150...410 мм, годовая производительность агрегата 500 тыс. т.

## 1.2. Трубопрокатные агрегаты с непрерывным станом

Агрегаты с непрерывным станом в силу их значительной единичной мощности весьма перспективны для производства труб массового назначения [9]

На современных ТПА с непрерывным станом производят бесшовные трубы диаметром от 16 до 426 мм с толщиной стенки 2,0...25 мм из углеродистых, низко и высоколегированных сталей. Для раскатки гильзы в черновую трубу применяют продольную непрерывную прокатку в 3–9 клетях с круглыми и овальными калибрами на длинной оправке.

Основное достоинство процесса раскатки в непрерывном стане – возможность прокатки черновых труб значительной длины (до 33 м) с большой скоростью (до 6,5 м/с), что обеспечивает высокую производительность установки, также обеспечиваются минимальные технологические отходы и расположение оборудования [2].

Наибольшее распространение агрегата подобного типа получили в Китае, ТПА со станом FQM введен в ОАЭ, Индии, Южной и Северной Америке. В России в 2008 году на ПАО «Таганрогский металлургический завод» был введен в эксплуатацию агрегат с непрерывным станом PQF (поставщик фирма «SMS Meer») 10 3/4", предназначенный для производства бесшовных труб нефтяного сортамента диаметром 73...273 мм с толщиной стенки от 5 до 25 мм. В 2014 году на ПАО «Северский трубный завод» внедрено оборудование непрерывного стана FQM (поставщик фирма «Danieli»), запущенное в эксплуатацию в 2014г. и включающее в себя следующие основные агрегаты:

- пяти клетевой непрерывный стан FQM с 3-х валковыми клетями, изготовитель «Danieli»;
- трех клетевой стан–извлекатель с 3-х валковыми клетями, изготовитель «KOCKS»;
- печь с шагающими балками, изготовитель «Danieli»;



– четырнадцать клетьевого калибровочный стан с 3-х валковыми клетями, изготовитель «KOCKS»;

– трубоправильная машина, изготовитель «BRONX»;

– отрезные станки для послойной резки труб, изготовитель «Danieli»;

В 2006 в Белоруссии на РУП «Белорусский металлургический завод» введен в эксплуатацию агрегат подобного типа PQF 6 5/8" для производства труб диаметром 21...1668 мм с толщиной стенки от 2,3 до 25 мм.

Непрерывный стан PQF 10 3/4" состоит из пяти трехвалковых клетей, калибры которых установлены с поворотом на 60° друг относительно друга. Раскатка гильз происходит на контролируемо-перемещаемой оправке. В мировой промышленности кроме пятиклетевых эксплуатируются так же шестиклетевые трехвалковые непрерывные станы PQF.

1.3. Агрегаты для производства труб на установках с раскатными станами винтовой прокатки, планетарными и реечными станами

Трубопрокатные агрегаты с раскатными станами винтовой прокатки предназначены для производства толстостенных труб повышенной точности.

В настоящее время распространены две схемы ТПА, в которых раскатка производится на станах винтовой прокатки:

1) ТПА с трехвалковым раскатным станом винтовой прокатки (станы Ассела);

2) ТПА с двухвалковым раскатным станом с направляющими дисками (станы Дишера).

Наибольшее широко в мировой практике применяются агрегаты с трехвалковыми раскатными станами, так как они обеспечивают: возможность получения труб с высокой точностью геометрических размеров по диаметру (в пределах  $\pm 0,05$  %) и толщине стенки (не более  $\pm 7,0$  %); быструю перестройку станов при изменении сортамента прокатываемых труб; применение

автоматического управления всеми механизмами.

В России горячекатаные трубы повышенной точности из подшипниковых, легированных и углеродистых сталей производят на агрегатах с трехвалковым раскатным станом. ТПА 40-160 Первоуральского Новотрубного завода (ПНТЗ) и ТПА 50–200 Волжского трубного завода (ВТЗ) [5].

Технологический процесс изготовления труб осуществляется следующим образом: поступающие в цех заготовки нарезаются на требуемые длины на двух прессах ломки заготовки или на пресс–ножницах; далее по рольгангу поплавно заготовки поступают на загрузочную решетку нагревательной печи, где они нагреваются до температуры прокатки 1220...1260 °С, после чего заготовки поступают на пневматический зацентровщик, где на передних торцах наносят центровочные отверстия глубиной 25...30 мм; затем заготовки прошивают в гильзы в прошивном стане с бочковидными валками и линейками.

Полученную гильзу раскатывают в трехвалковом стане Ассела на длинной плавающей оправке, при этом формируется окончательная толщина стенки трубы. После извлечения оправки трубы поступают в печь с шагающими балками для подогрева и выравнивания температуры перед чистовыми операциями; в зависимости от сортамента труб последняя операция формирования наружного диаметра осуществляется либо в трехвалковом калибровочном стане винтовой прокатки, либо в 12–клетевом двухвалковом редуционно-калибровочном стане продольной прокатки.

Для всех современных ТПА с трехвалковым станом, которые отличаются составом оборудования и особенно конструкцией отдельных станов и механизмов, степенью механизации и автоматизации, характерны следующие особенности: применение для нагрева заготовок кольцевых нагревательных печей, длинных плавающих оправок в трехвалковом раскатном стане; подогрев труб перед редуцированием или калибровкой; оснащение ТПА редуционными станами.

Для расширения производства прокатываемых труб в зарубежной практике применяются различные технологические схемы с трехвалковым раскатным станом: трехвалковый раскатной реечный стан в Германии на заводе Mannesmann; трехвалковый раскатной непрерывный стан на заводе фирмы Republic Steel Co. (США); трехвалковые раскатные автоматические станы на фирмах National Devision (США) и Kainon Steel Tubes (Япония).

На некоторых трубопрокатных агрегатах для прокатки относительно тонкостенных труб стали применять трехвалковые раскатные станы специальной конструкции, обеспечивающие возможность изменения углов подачи в период цикла прокатки одной и той же трубы.

Для прокатки тонкостенных труб с использованием свободно плавающей длинной оправки французская фирма Dujardin-Montbard-Somenor разработала конструкцию клетки трехвалкового раскатного стана (клеть «Трансваль»), которая оборудована специальными механизмами для осуществления процесса с переменным углом подачи и изменением исходных размеров калибра. Концевые участки тонкостенных труб в клетке данной конструкции прокатываются по технологии, предусматривающей изменение углов подачи до минимальных значений с одновременным разведением валков для образования концевых утолщений.

В настоящее время за рубежом работает несколько трубопрокатных агрегатов с трехвалковыми раскатными станами типа «Трансваль». Такой стан эксплуатируется на заводе фирмы Babcock and Wilcox Co. в Эмпридже (США). Стан установлен параллельно непрерывному длиннооправочному стану и предназначен для производства высокоточных труб с  $D/S$  от 4,5 до 15. При этом для прокатки наиболее тонкостенной части сортамента предусмотрено автоматическое изменение углов подачи, а также размеров калибра с тем, чтобы при формировании переднего концевого участка трубы отношение  $D/S$  на нем не превышало 10, а заднего концевого участка – 8.

#### 1.4. Трубопрокатные агрегаты с пилигримовым станом

На агрегатах с пилигримовым станом изготавливают трубы обсадные, бурильные, нефтепроводные и трубы общего назначения диаметром до 720 мм. (таблица 1).

Таблица 1 – Сортамент труб, изготовленных на ТПА с пилигримовым станом в России

Наименование труб	ТПА 5-10, Таганрогский металлургический завод		ТПА 5-12, Северский трубный завод		ТПА 8-16, Челябинский трубопрокатный завод	
	Диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм
Обсадные	146...168	7-11	168...325	7...12	273...426	7...12
Бурильные	140...168	8-10	-	-	-	-
Нефтепроводные	140...168	7-11	168...352	7...12	273...426	7...12
Бурильные утяжеленные, бурильные квадратные штанги	Квадрат 140-168	Внутренний диаметр 74-100	-	-	-	-
Общего назначения	140...168	7...22	168...325	7...25	219...426	10...75 и выше
Размеры прокатываемых труб( по техн. характеристике)	140...273	5...50	168...235	5...60	219...426	7...80 и выше

В мире работают около 50 агрегатов с пилигримовым станом. В России эксплуатируются четыре: на Таганрогском металлургическом заводе ТПА 5–10" и ТПА 4–10", на Челябинском трубопрокатном заводе ТПА 8-16" и на Северском трубном заводе ТПА 5–12".

По составу оборудования трубопрокатные агрегаты с пилигримовым станом разделяют на немодернизированные и модернизированные.

В цехах, оборудованных немодернизированными агрегатами, на участках горячей прокатки расположены: нагревательные методические печи; прошивной стан винтовой прокатки; тележки для транспортировки слитков; две пилигримовые клетки с приводом валков от общего двигателя; устройство для

порезки труб; одноклетевой калибровочный стан; стан горячей правки и охлаждающий стол.

Существенным прогрессом в развитии и совершенствовании технологии производства труб на ТПА с пилигримовым станом явилось применение прессов для прошивки слитков в толстостенные стаканы, которые затем раскатывают на станах винтовой прокатки (станах–удлинителях).

В составе современного трубопрокатного агрегата модернизированного типа: кольцевые печи; горизонтальный или вертикальный прессы; кольцевая печь для подогрева стаканов; стан-удлинитель (элонгатор); пилигримовые станы с индивидуальным приводом и устройством для внестановой зарядки дорнов; печи для подогрева труб перед калибровкой; калибровочные или редуционные станы.

Литературный обзор произведен с целью сравнения существующих методов и технологий производства горячекатаных бесшовных труб высокого качества в отечественной и мировой практике. Приведены краткие описания технологических процессов на производственных площадках заводов России. Указаны сортамент производимой продукции, оборудование используемое для производства бесшовных труб.

## 2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНЫХ БЕСШОВНЫХ ТРУБ

Независимо от способа производства горячедеформированных труб технологическая схема включает следующие общие элементы: нагрев металла, получение полой заготовки (гильза), получение черновой трубы (раскатка гильзы), окончательное формирование стенки диаметры трубы (редуцирование или калибровка) (рисунок 1). При этом перед каждой технологической операцией при необходимости может осуществляться подогрев трубы.

Технология производства бесшовных труб предъявляет высокие требования к качеству исходной заготовки. Поэтому использование непрерывнолитой заготовки для производства бесшовных труб долго сдерживалось из-за наличия ликвидаций и несплошностей в центральной части и на поверхности заготовки, что не обеспечивало получения качественных труб.

Однако высокая экономическая эффективность использования непрерывнолитых заготовок стимулировала проведение работы по развитию и совершенствованию технологии производства непрерывнолитых заготовок, разработку и создание новых процессов, технологий и трубопрокатного оборудования, обеспечивающих получение труб высокого качества из непрерывнолитого металла.

Применение качественной и дешевой заготовки в виде слитка непрерывной разливки является важным фактором конкурентоспособности бесшовных труб на мировом рынке.

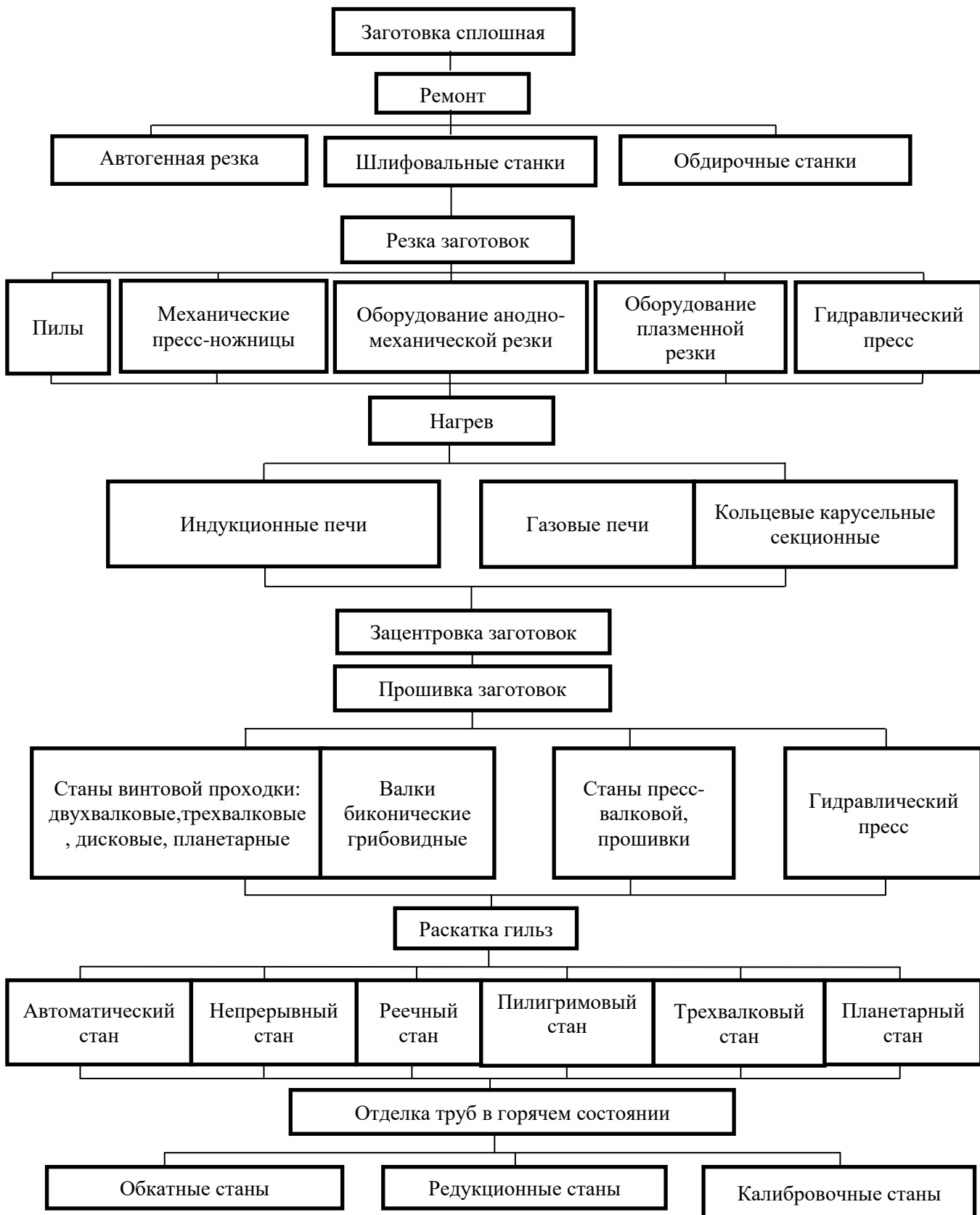


Рисунок 1 – Технологические операции и оборудование для производства горячедеформированных бесшовных труб.

Первые успехи были достигнуты при использовании непрерывнолитой заготовки прямоугольного сечения после обжатия ее в круг на обжимном стане. Дальнейшее совершенствование технологии трубопрокатного производства шло по пути непосредственного использования непрерывнолитой заготовки для производства труб с исключением предварительной прокатки на обжимных станах.

Способ прошивки заготовки в гильзу, применяющийся на том или ином трубопрокатном агрегате, определяет форму и размеры используемой непрерывнолитой заготовки.

Заготовка поступает на участок основного производства, где выполняется комплекс операций, обеспечивающих получение гильзы: нагрев и прошивка заготовок на станах винтовой прокатки. При прошивке исходных квадратных, многогранных или круглых заготовок на пресс-валковых станах или прессах в толстостенный стакан гильзы получают путем последующей раскатки на двух- или трехвалковых станах винтовой прокатки (станах-элонгаторах). Этот процесс прошивки заготовки в стакан характеризуется относительно низким коэффициентом вытяжки, высокими требованиями к инструменту, относительно высокой разностенностью стаканов, что вызывает необходимость их элонгирования (при элонгировании значительно снижается разностенность гильз). Для раскатки гильз применяют двух- или трехвалковые станы винтовой прокатки. Превращение гильзы в черновую трубу осуществляется путем ее продольной, винтовой, поперечной раскатки на короткой и длинной оправке или на прессовом оборудовании. Методы реализации этого процесса характеризуется большим разнообразием, сложными технологическими схемами и конструкциями оборудования и постоянно совершенствуются с целью расширения сортамента, повышения качества, снижение материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости их производства. Черновую трубу подвергают отделочным операциям (редуцированию, калиброванию, термической, химической и механической



обработке), обеспечивающим получение труб с заданными свойствами. После этих операций трубы повторно направляют на отделочные операции: термическую обработку (при необходимости), нанесение антикоррозионных покрытий (если это необходимо), упаковку, консервацию. Затем трубы поступают на склад готовой продукции, откуда их отгружают потребителям.

Технологические процессы производства горячедеформированных труб можно классифицировать по следующим основным признакам:

Приведем классификацию по способу получения гильзы. В зависимости от вида и химического состава применяемой исходной заготовки (катаная, ковкая, непрерывнолитая, слиток) гильзы получают в станах винтовой прокатки, на прессах либо сочетанием двух процессов: получением толстостенного стакана прессованием или пресс-валковой прошивкой с последующей прошивкой доньшка и раскаткой стенки гильзы в стане винтовой прокатки (стане–элонгаторе);

Приведем классификацию по способу получения черновой трубы (способ раскатки гильз). Черновые трубы получают способами: продольной прокатки в автоматическом стане; непрерывной, периодической прокатки в пилигримовом стане; винтовой прокатки преимущественно в трехвалковом стане Ассела, реже – в двухвалковом стане типа Дишера или Акку-Ролл; проталкивание стаканов через уменьшающиеся в диаметре калибры с роликовыми обоймами в реечном стане; выдавливанием металла в кольцеобразную щель трубопрофильном прессе;

Приведем классификацию по способу окончательного формирования геометрических размеров трубы. Окончательный размер трубы обычно получают калибровочных или редуционных станах продольной прокатки, реже – в станах винтовой прокатки. В трубопрокатных агрегатах с автоматическим станом (станом тандем) и реечным указанной операции предшествует обкатка трубы (риллингование в стане винтовой прокатки). В отдельных трубопрокатных

агрегатах, специализирующихся на производстве бесшовных труб большого диаметра, на финишных операциях возможно применение станов–расширителей.

Операции получения гильз (прошивка) и чистовых труб (калибровка или редуцирование) присущи практически всем способам производства горячедеформированных труб, т.е. могут сочетаться с любым из способов получения черновой трубы (раскаткой гильзы в трубу). Поэтому такие операции в значительной мере характеризуют технологические особенности и возможности трубопрокатного агрегата (таблица 2).

Таблица 2 – Основные типы трубопрокатных установок

Тип установки	Оборудование для прошивки заготовок	Основной раскатной стан	Оборудование для отделки
С автоматическим станом	Прошивные станы (биконические с двумя и тремя валками, грибовидные, дисковые); пресс	Автоматический двухвалковый стан	Обкатные (риллинг) станы, калибровочный стан, редуциционный стан
С пилигримовым станом	Прошивной стан с биконическими валками; пресс	Пилигримовый стан	Правильный стан; калибровочный стан; редуциционный стан
С непрерывным станом	Прошивные станы с биконическими валками, пресс-валковые, планетарные	Непрерывный стан	Редуциционный стан; калибровочный стан
С трехвалковым раскатным станом	Прошивные станы биконические с двумя и тремя валками	Трехвалковый стан винтовой прокатки	Калибровочный стан, трехвалковый калибровочный стан
С реечным станом	Пресс	Реечный стан	Обкатной стан, калибровочный стан

### 3. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОБОРУДОВАНИЯ ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТА 8-16" ПАО ЧТПЗ

Продукция выпускаемая прокатным цехом №1 ПАО ЧТПЗ имеет широкий спектр использования и назначения: газлифтные; коррозионностойкие; котельные; нержавеющие; нефтепроводные; спецназначения; обсадные; толстостенные. Используемые марки сталей: углеродистые, легированные, коррозионностойкие, нержавеющие. Размер производимых труб: диаметр от 245 мм до 575 мм. толщиной стенки от 7,9 до 90 мм из непрерывно-литой заготовки (НЛЗ) диаметром 430 мм, ковальной заготовки диаметром 430...650 мм, центробежнолитой заготовки (ЦЛЗ) и слитков различных способов переплава.

Производство бесшовных труб выполняется непосредственно из заготовок круглого сечения, полученных непрерывным литьем. Качество заготовки существенно влияет на свойства прокатных изделий. Она считается качественной, если усадочная раковина, рыхлость, ликвация, макроструктура, газовые пузыри, неметаллические включения и другие внутренние пороки находятся в допустимых пределах, а поверхностные дефекты отсутствуют.

Подготовка заготовок к прокатке заключается в удалении имеющихся на поверхности дефектов: плен, волосовин, трещин, неметаллических включений, закатов, подрезов, царапин. Все это выявляется тщательным осмотром заготовок. При производстве легированных сталей, чтобы вскрыть и обнаружить невидимые из-за слоя окалины дефекты поверхности, производят травление металла в растворах кислот или очистку поверхности другим способом.

Необходимость удаления поверхностных дефектов на заготовках вызывается тем обстоятельством, что они, как правило, не устраняются в процессе последующей прокатки, а переходят на готовый продукт. Удаление поверхностных дефектов на заготовках представляет собой весьма трудоемкую операцию.

Удаление поверхностных дефектов осуществляется различными способами в зависимости от вида зачищаемого дефекта, назначения и химического состава зачищаемого металла и др.

Для удаления дефектов применяются такие методы как:

- зачистка дефектов пневмозубилами;
- зачистка наждачными станками;
- огневая зачистка или выжигание слоя металла кислородно-ацетиленовым пламенем;
- фрезеровка, строжка, обточка и др.

Для нагрева слитков перед прокаткой используются методические нагревательные печи. В печи имеются три регулируемые по тепловому режиму зоны: 1-я зона – томильная; 2-я зона – сварочная; 3-я зона – методическая. Печи могут работать как на автоматическом, так и на ручном управлении тепловым режимом

Тепловой и температурный режимы методической печи неизменны во времени. Вместе с тем по длине печи температура в печи изменяется в значительных пределах. Характер изменения температуры по длине печи определяет количество и назначение зон печи. Металл поступает в зону наиболее низких температур и, продвигаясь навстречу дымовым газам, температура которых наиболее низка в месте их выхода из печи постепенно нагревается.

Первую (по ходу металла) зону, в пределах которой температура по ее длине изменяется, называется методической. В ней металл постепенно подогрывается до поступления в зону высоких температур (сварочную зону). Во избежание возникновения чрезмерных термических напряжений в металле часто бывает, необходим медленный нагрев его в интервале температур от 0 до 500°С. Постепенный нагрев металла в методической зоне, представляющей собой противоточный теплообменник, обеспечивает безопасный режим нагрева. Движущиеся навстречу перемещению металла дымовые газы отдают ему тепло,

весьма значительно охлаждаясь в пределах методической зоны. Обычно в конце методической зоны температуру печи поддерживают в пределах 750...1000°C. Наличие методической зоны, значительно увеличивает коэффициент использования топлива.

Вторую по ходу металла зону называют зоной высоких температур, или сварочной зоной. Назначение этой зоны состоит в быстром нагреве поверхности заготовки до конечной температуры. Нагрев металла в методической печи обычно доводят до температуры 1150...1250°C. Для интенсивного нагрева поверхности металла до этих температур в сварочной зоне необходимо обеспечивать температуру на 150...250 градусов выше температуры нагрева металла, то есть поддерживать ее на уровне 1300...1400°C.

Третья по ходу металла так называемая томильная зона (зона выдержки) служит для выравнивания температуры по сечению металла. В сварочной зоне до высокой температуры нагревается только поверхность металла, температура же середины металла значительно отстает от температур поверхности, вследствие чего создается большой перепад температур по сечению металла, недопустимый по технологическим соображениям. С таким значительным перепадом температур по толщине металл поступает в томильную зону, где температуру поддерживают всего на 50...70 градусов выше необходимой температуры нагрева металла. Поэтому в томильной зоне температура поверхности металла не изменяется и поддерживается на достигнутом в сварочной зоне уровне; в этой зоне печи происходит только выравнивание температуры по толщине металла. Температура слитков на выдаче из печи должна быть 1290...1320°C.

В данном разделе представлена технология процесса прокатки горячекатаной бесшовной трубы, приведено описание процессов получения готовой трубы из непрерывнолитой заготовки.

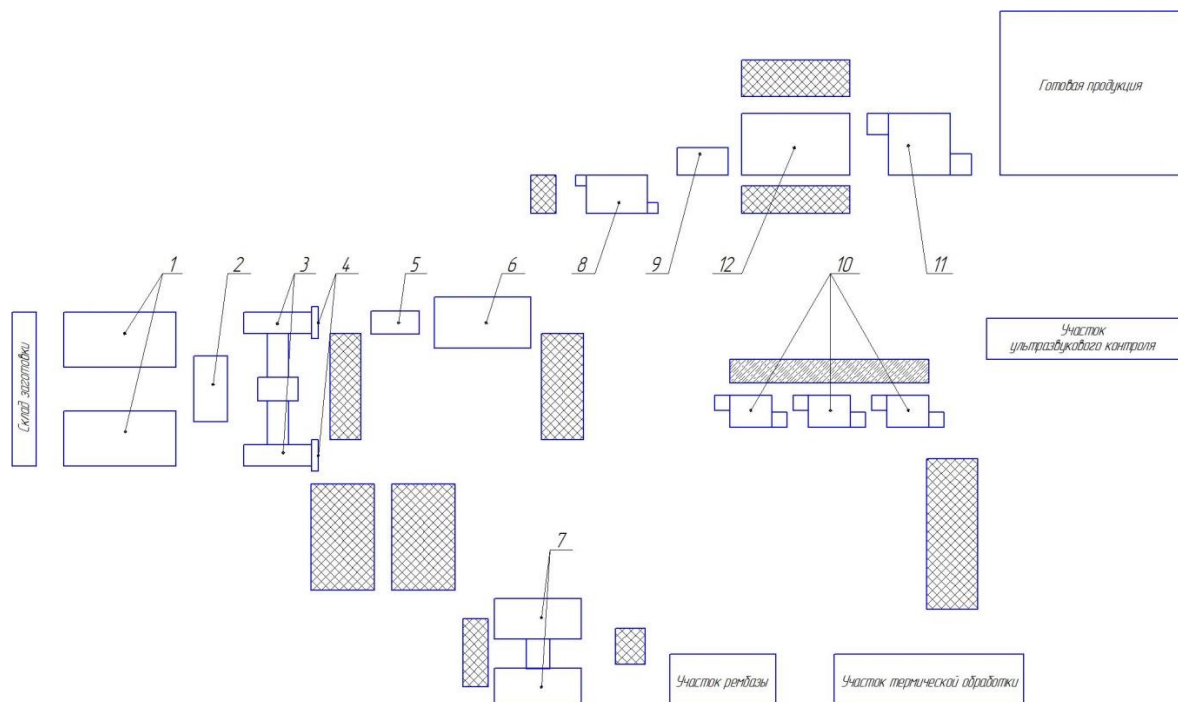


Рисунок 2 – План расположения главного оборудования:

1 – печь методическая; 2 – стан косовалковый прошивной; 3 – стан пилигримовой прокатки; 4 – пила дисковая; 5 – печь газороликовая; 6 – стан калибровочный; 7 – машина косовалковая правильная; 8 – машина резьбонарезная; 9 – станок наверточный; 10 – комплекс трубонарезной; 11 – станок торцефасочный; 12 – гидропресс.

После нагрева в методической печи 1 заготовка передается на следующую операцию – зацентровку. Зацентровка заготовок, заключающаяся в нанесении лунки в центре переднего их торца, производится с целью снижения разностенности передних концов прошиваемых гильз и улучшения условий захвата в прошивном стане за счет увеличения длины зоны контакта в момент внедрения в металл носка оправки. Ее производят в горячем состоянии путем вдавливания пуансона (бойка) с помощью пневматического ударного устройства. Центровка имеет форму конуса (лунки) следующих размеров: диаметр основания конуса от 60 до 80 мм; глубина центровки – не менее 50 мм.

Далее в соответствии с технологическим процессом идет прошивка заготовки в гильзу, которая осуществляется на стане винтовой прокатки 2 (рисунок 3).

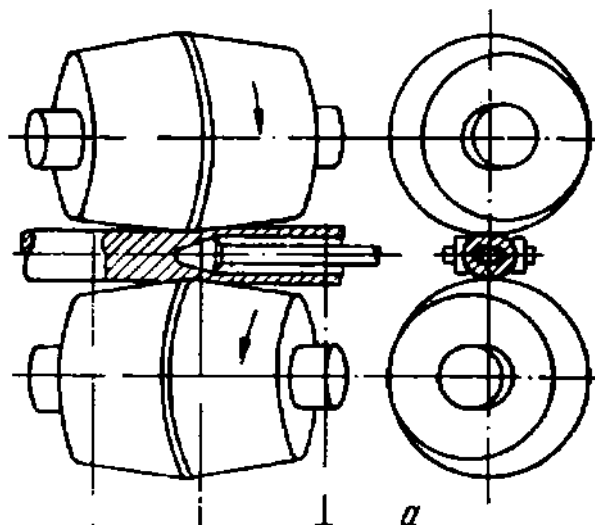


Рисунок 3 – Схема прошивки заготовок в двухвалковых станах винтовой прокатки.

Данный способ позволяет получить требуемые размеры гильзы за одну операцию. Для прошивки заготовки в полуую гильзу используется двухвалковый прошивной стан с бочковидными валками. Техническая характеристика стана винтовой прокатки:

- станина – закрытого типа;
- тип валков – бочковидные;
- материал валков – сталь 50;
- привод электродвигателя постоянного тока мощностью 2750 кВт,  $n=70\dots180$  об/мин.,  $U=700$ В;
- материал оправок – сталь 30Х3МФ;
- диаметр валков – 740 мм;
- длина бочки валков 948 мм;
- размер заготовок:
  - диаметр – 400...650 мм;
  - длина – 1100...1900 мм;
- размер гильз:
  - диаметр – 420...670 мм;

– длина – 2400...3500 мм.

При винтовой прошивке основное движение и формоизменение металла происходит под действием силы трения на контактной поверхности металла с валками. Заготовка имеет вращательное и поступательное движение. Винтовое движение заготовки обеспечивается разворотом осей рабочих валков относительно оси прокатки, а также вращением валков в одном направлении (рисунок 4).

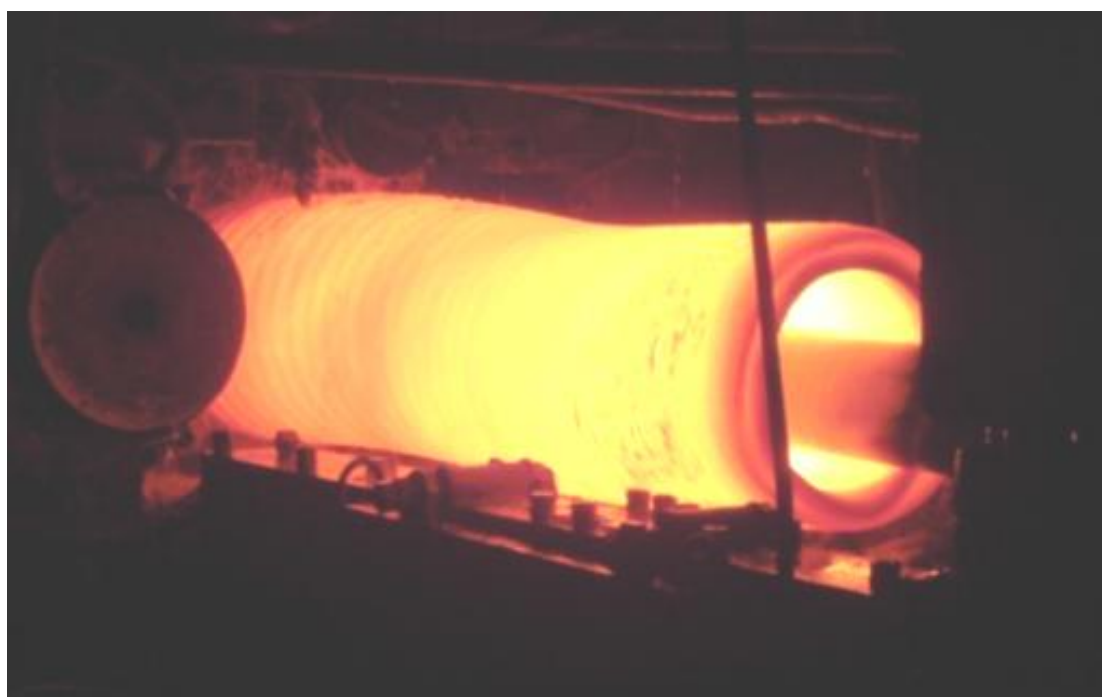


Рисунок 4 – Выход гильзы из прошивного стана

С прошивного стана труба поступает на пилигримовый стан 3.

Пилигримовая прокатка относится к периодическим процессам, в которых сочетаются элементыковки в начале процесса и продольной прокатки. Пилигримовый стан состоит из двух клетей периодической прокатки приводимых в действие от одного двигателя, валки пилигримового стана вращаются в направлении обратном направлению движения заготовки на оправке. При пилигримовой прокатке цикл деформации гильзы в трубу осуществляется за один оборот валков с переменным радиусом калибра. Происходит обжатие по диаметру



и толщине стенки с приданием стенке и диаметру трубы размера близкого к конечному значению. Раскатка гильзы ведется на оправке (дорне) путем продольной прокатки. Гильза, находящаяся на оправке проходит через валки пилигримового стана, и, таким образом, внутренний диаметр трубы определяется диаметром оправки, внешний – диаметром валков пилигримового стана.

Техническая характеристика пилигримового стана:

- привод от электродвигателя постоянного тока, мощностью 2570 кВт,  $n = 35 \dots 75$  об/мин,  $U=700В$ ;
- размер валков:
  - диаметр бочки – 840...1045 мм;
  - длина бочки – 750 мм;
- материал валков – сталь 45 с аустенитной наплавкой;
- размеры прокатываемых труб:
  - наружный диаметр – 219...575 мм;
  - толщина стенок – 8...104 мм;
  - длина – 4...43 мм;
- тип станины – закрытого типа.

Подающий аппарат является наиболее ответственным механизмом пилигримового стана, от надежности которого зависит бесперебойная работа стана, темп прокатки и производительность всего агрегата.

В выбранном стане пилигримовой прокатки с технической характеристикой приведенной выше, в конструкции подающего аппарата смонтирован гидравлический тормоз, что позволяет повысить скорость вращения валков и увеличить, таким образом, производительность установки.

Подающий аппарат предназначен для подачи гильзы в валки пилигримового стана с одновременным поворотом ее на 90 и 135 градусов. Подающий аппарат состоит из следующих основных узлов: станины; каретки с пневмоцилиндром;

амортизатором и поворотным (диаметр поршня – 675 мм) устройством; гидроцилиндров для продвижения каретки; дорнодержателя.

На рисунке 5 показан валок пилигримового стана, имеющий ручей переменной ширины и высоты по окружности, подразделяемый на две части: холостую, где диаметр калибра больше диаметра прокатываемой гильзы, и рабочую, состоящую из рабочего и полирующего участков. Два ручья образуют круглый калибр с переменными размерами глубины и ширины по окружности вала.

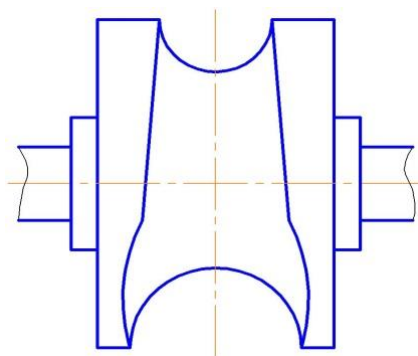


Рисунок 5 – Валок пилигримового стана

Так как при вращении валков размеры калибра непрерывно меняются, то в некоторый момент можно подать металл в валки для деформирования определенного участка полосы. Поэтому процесс работы на пилигримовой клети заключается в периодической подаче на определенную длину гильзы вместе с дорном (на 20...30 мм) в зазор между валками в момент совпадения холостой части ручья обоих валков. При дальнейшем вращении валков выполняется процесс прокатки, и стакан перемещается в направлении, совпадающем с направлением вращения валков (рисунок 6), т.е. обратном ходу прокатываемой трубы. При этом захватывающий участок валков обжимает стакан на дорне по диаметру и толщине стенки, а полирующий обеспечивает выравнивание диаметра и толщины стенки трубы. Вытяжка при такой прокатке достигает 10...14-ти кратного значения. При следующем повороте валков создается возможность новой подачи стакана в область деформации, что выполняется специальным

подающим аппаратом с одновременным вращением стакана на  $90^\circ$ . Подающий механизм обычно работает от сжатого воздуха давлением до 1 МПа, а поворот заготовки выполняется дрелью. При прокатке в пилигримовой клети всегда остается не докатанным задний участок гильзы — пилигримовая головка. По окончании прокатки дорн извлекают из трубы для охлаждения, а в падающей механизм вставляют новый дорн

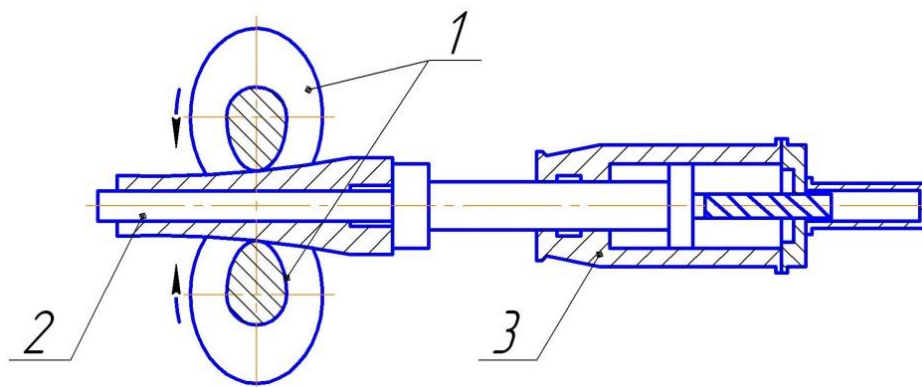


Рисунок 6 – Схема процесса пилигримовой прокатки:

1 – пилигримовые валки; 2 – дорн; 3 – подающий механизм.

Приведем описание дефектов, возникающих при несоблюдении технологического процесса пилигримовой прокатки:

1. Бугры на трубах. Причина: работа на пилигримовом стане с чрезмерно большой подачей, вследствие чего полирующий участок не раскатывает трубу в достаточной мере. Способ устранения: нормализовать подачу на пилигримовом стане.

2. Разностенность труб. Причина: применение разностенных или неравномерно нагретых гильз, перекося осей валков пилигримового стана, относительное смещение бойков в результате неправильной расточки, неисправность поворотного механизма подающего аппарата. Способ устранения: следить за равномерным нагревом заготовок, следить за правильной установкой валков, проверять ежемесячно величину относительного смещения бойков, угол поворота гильзы держать близким к  $90^\circ$ .

3. Овальность. Причина: неправильно расточен калибр валков, неточная установка желоба за пилигримовым станом. Способ устранения: проверить размер калибра перед установкой в пилигримовый стан, проверить установку выводного желоба стана и отрегулировать его.

4. Закат на трубах. Причина: закат уса, образующегося на выпусках калибра при слишком больших подачах, выкрашивание пильгервалков, несоответствие внутреннего диаметра гильзы и диаметра дорна. Способ устранения: уменьшить подачу на пилигримовом стане, следить за состоянием пильгервалков, производить прошивку гильзы в соответствии с таблицей прокатки.

5. Сетка по поверхности труб. Причина: износ калибров пилигримовых валков, при котором получают продольные и поперечные трещины разгарного характера. Способ устранения: при сетке, приводящей к браку труб – сменить валки.

6. Недокаты. Причина: затруднение при заправке гильзы вследствие ее повышенного диаметра, растрепывание переднего конца трубы, неисправность подающего аппарата при прекращении подачи воды. Способ устранения: строго выдерживать наружный диаметр гильзы прокатки, не допускать подачу в стан захлаженных гильз.

7. Толстостенные и тонкостенные трубы. Причина: применение дорнов с резкими отклонениями от номинальных размеров. Способ устранения: тщательно проверять размеры дорна по диаметру перед подачей на стан, следить за нормальным охлаждением дорнов, не допускать прокатки на одном дорне более одной трубы.

При прокатке на пилигримовом стане всегда остается недокатанным задний конусный участок гильзы, называемый пилигримовой головкой. Пилигримовая головка на выходе трубы из стана передается для обрезки на дисковую пилу 4.

Техническая характеристика дисковой пилы:

- мощность электродвигателя – привода дисковой пилы 95/120 кВт;
- ход пилы 1050 мм;
- диаметр диска пилы 1745 мм;
- толщина диска пилы 8...12 мм;
- масса диска 216 кг;
- частота вращения 580 об/мин;
- диаметр разрезаемых труб 219...465 мм;
- максимальная толщина стенки 30 м.

После обрезания труба идет на нагрев в роликовую печь 5. Роликовая печь отапливается природным газом при помощи 18 верхних и 10 нижних горелок. Расположение горелок тангенциальное, что позволяет создавать рециркуляцию продуктов сгорания в рабочем пространстве печи.

Далее труба поступает на калибровочный стан 6 (рисунок 7), где происходит калибрование в системе круглых калибров в непрерывном стане продольной прокатки. Прокатка ведется без натяжения, при этом происходит утолщения стенки на 4...16%.



Рисунок 7 – Калибровочный стан

В состав калибровочного стана входит 5 двухвалковых клетей, которые устанавливаются под углом  $45^{\circ}$  к горизонту и под углом  $90^{\circ}$  одна к другой. Этим обеспечивается обжатие заготовки в двух взаимно перпендикулярных направлениях, тем самым повышается точность и уменьшается овальность труб.

Каждая клетка имеет индивидуальный привод, что делает стан более маневренным и улучшаются условия его ремонта, скорость выхода трубы из стана достигает до 1 м/с.

В состав главной линии каждой клетки калибровочного стана рабочая клетка закрытого типа с одноручьевыми валками и привод, выполненный в виде кинематически связанных электродвигателя мощностью 160 кВт,  $n=500\dots 1500$  об/мин, комбинированного редуктора и универсальных шпиндельных соединений.

Охлаждение трубы происходит естественным путем, без применения дополнительных охлаждающих установок. После охлаждения труба поступает на косовалковую правильную машину 7, где устраняются механические деформации и кривизна, возникшие во время технологического процесса прокатки труб.

Далее происходит вырезка дефектных участков на станке и нанесение фаски на торец трубы на торцефасочном стане 11. Все трубы проходят неразрушающий контроль для выявления скрытых дефектов не видимых визуально.

В дальнейшем трубы, которые требуют определенных свойств при эксплуатации идут в травильно – термическое отделение для термической обработки.

Преимущества пилигримового способа прокатки труб заключаются в возможности получения труб из слитков, производства особотолстенных и профильных труб специального назначения: квадратных, шестигранных, конических, ступенчатых, плавниковых и т.д., а также труб, имеющих значительную длину, высокую степень механизации и автоматизации процессов,

низкую себестоимость.

Для ТПА 8-16" Челябинского трубопрокатного завода с целью сохранения позиции на рынке производства бесшовных труб необходимо также и усовершенствование технологии и оборудования. А именно внедрение взамен устаревших методических нагревательных печей, печи кольцевого типа, обладающие большей производительностью и качеством нагрева заготовок. Для обеспечения точной геометрии и исключения разностенности производимых труб необходимо внедрение новых редуцированных станов, имеющих возможность точной настройки. Для операций промежуточного подогрева труб возможно использование малогабаритных установок индукционного нагрева труб взамен газовых печей.

Немаловажным также является усовершенствование методов и технологии обработки готовой трубы, в части механической и термической обработки. Освоение современных герметичных соединений для обсадных и бурильных труб может обеспечивать конкурентоспособность продукции на рынке.

#### 4. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ КАЛИБРОВАНИИ ТРУБ НА КАЛИБРОВОЧНОМ СТАНЕ 8-16" ПАО ЧТПЗ

Технологически обеспечивается выпуск годной продукции со стана пилигримовой прокатки. В связи с этим трубы к которым предъявляются на доработку на калибровочном стане. Со стана пилигримовой прокатки выходит труба с горячим размером  $\Phi 430...432$  мм. В свою очередь выход годной трубы с калибровочного стана имеет геометрические размеры в горячем виде  $\Phi 427...429$  мм. Что после усадки и охлаждения трубы  $\Phi 426$ .

Форма калибров валков зависит от заданных исходных данных. Таким образом при редуцировании труб круглого сечения более рациональными является калибр овальной формы, так как обжатия являются наименьшими для

получения требуемого диаметра трубы ( $\emptyset 427\text{мм}$ ), то принимаем систему калибров овал – овал – овал – овал – круг.

Число клеток известно и равняется пяти. Чистой калибр последней клетки выполняется круглым с радиусом равным половине диаметра трубы

Диаметр бочки валка [10]:

$$D_6 = D_{\text{ред}}^{\text{max}} + (200 \div 300)\text{мм}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{ред}}^{\text{max}}$  – максимальный геометрический размер в горячем виде.

$$D_6 = 429 + 200 = 629\text{мм}.$$

Длина бочки валка:

$$L_6 = D_{\text{ред}}^{\text{max}} + (80 \div 120)\text{мм}, \quad (2)$$

$$L_6 = 429 + 120 = 549\text{мм}.$$

Так как для получения трубы  $\emptyset 427\text{мм}$  из заготовки  $\emptyset 432\text{мм}$ , требуется применить небольшие обжатия, то принимаем относительное обжатие:

$$\varepsilon_1 = 0,2; \quad \varepsilon_2 = 0,4; \quad \varepsilon_3 = 0,4; \quad \varepsilon_4 = 0,35,$$

А в пятой клетки  $\varepsilon_5 = 0$ . В этом случае преследуется иная цель – повышение износостойкости калибров и получение стабильного наружного диаметра трубы.

Форма калибров показана на рисунке 8

Итак, распределив деформации по клетям стана определим средние диаметры калибров:

$$D_{\text{cp}} = D_{\text{cp}-1} \left( 1 - \frac{\varepsilon_i}{100} \right), \quad (3)$$



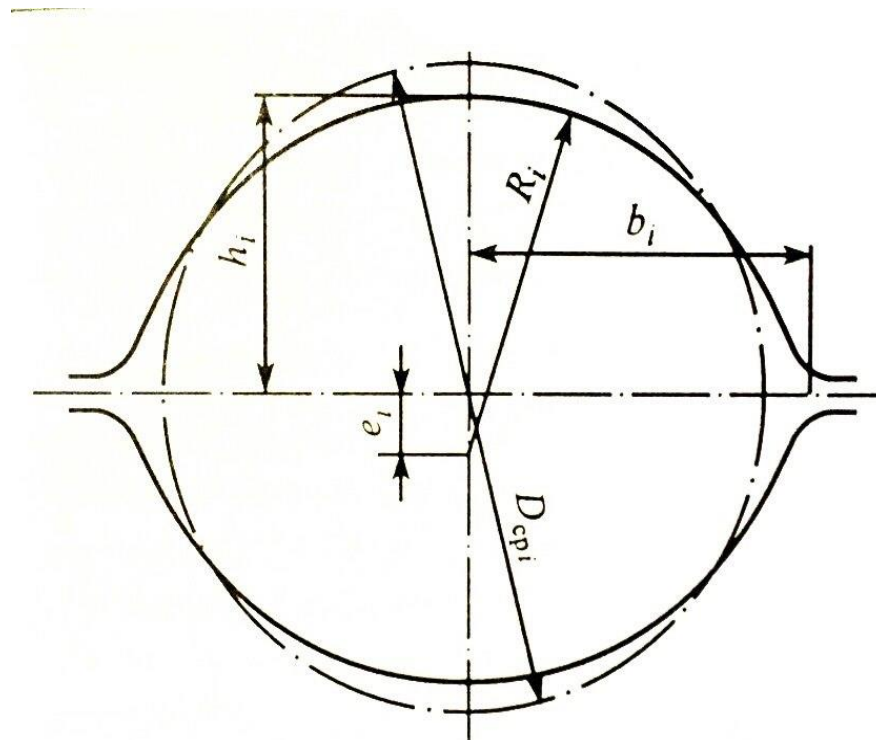


Рисунок 8 – Двухвалковый калибр:

$h_i$  – половина высота калибра;  $b_i$  – ширина калибра;  $e_i$  – эксцентриситет калибра;  $R_i$  – радиус двухвалкового калибра;  $D_{cpi}$  – средний диаметр трубы, входящий в калибр.

Значения радиусов и эксцентриситета калибров определяется по ширине и высоте калибров по формулам:

$$R_i = \frac{(b_i^2 + h_i^2)}{(2h_i)}, \quad (4)$$

$$e_i = \frac{(b_i^2 - h_i^2)}{(2h_i)}, \quad (5)$$

Овальность калибра (по Г.И. Гуляеву и В.А. Юргеленасу)

$$\theta_i = \frac{b_i}{h_i} = \left( \frac{100}{100 - \varepsilon_i} \right)^q, \quad (6)$$

где  $\theta_i$  – овальность калибра;

$b_i$  – половина ширины калибра;

$h_i$  – высота ручья или половина высоты калибра;

$\varepsilon_i$  – частная деформация;

$q$  – степенной показатель, в двухвалковых станах при редуцировании без

натяжения расчет калибровки валков ведут с показателем  $q=1,5$ .

Ширина калибра:

$$b_i = \frac{D_{cp}}{E}, \quad (7)$$

где  $D_{cp}$  – средний диаметр калибра

$E$  – коэффициент зависящий от овальности калибра:

Половина высоты калибра:

$$h_i = \frac{b_i}{\lambda_i}, \quad (8)$$

Радиус места сопряжения ручьев с ребрами примем 10 мм

Зазор между валками примем  $\Delta=3$ мм.

Произведем расчеты размеров калибров валков калибровочного стана для первой клетки.

По формуле (3) находим средний диаметр калибра:

$$D_1 = 432 \left(1 - \frac{0,2}{100}\right) = 431,14 \text{ мм},$$

Овальность калибра рассчитаем по формуле (6):

$$\theta_1 = \left(\frac{100}{100-0,2}\right)^{1,5} = 1,01,$$

При  $\theta = 1,01-1,05$ ,  $E = 1,98-1,93$

Отсюда рассчитаем ширину калибра по формуле (7):

$$b_1 = \frac{D_1}{E} = \frac{432}{1,97} = 218,63 \text{ мм},$$

А половину высоты калибра по формуле (8):

$$h_1 = \frac{b_1}{\lambda_1} = \frac{218,63}{1,01} = 215,40 \text{ мм},$$

где  $\lambda$  – коэффициент вытяжки принимаем равным 1,01 для всех калибров.

Эксцентриситет рассчитаем по формуле (5):

$$e_1 = \frac{(218,63^2 + 215,40^2)}{(2 \cdot 215,4)} = 218,65 \text{ мм},$$

Аналогично производится расчет для клеток два, три, четыре.

Чистовой калибр последней клетки выполняется круглым с радиусом

половины диаметра трубы и равен 213,5мм. Все результаты расчета указываются в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры калибровки валков

№ клетки	$D_{cp}$ , мм	$\varepsilon_i$ , %	$H_i$ , мм	$B_i$ , мм	$e_i$	$R_i$
1	431,14	0,20	215,40	218,63	3,26	218,65
2	430,27	0,40	215,16	217,31	2,16	217,32
3	428,55	0,40	214,30	216,44	2,15	216,45
4	427,05	0,35	213,55	215,68	2,15	213,50
5	427	0,00	213,50	213,50	0,00	213,50

Из полученных результатов строим систему калибров овал – овал – овал – овал – круг (рисунок 9).

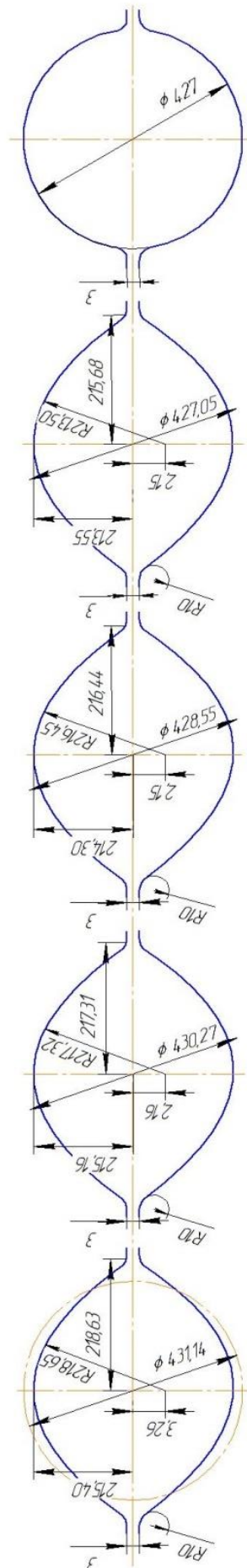


Рисунок 9 – Калибровка валков калибровочного стана

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрены методы производства горячедеформированных бесшовных труб различными способами, применяемые в современной практике в России и мировой практике. Приведено подробное описание технологического процесса производства бесшовных горячекатаных труб на стане пилигримовой прокатки на примере ТПА 8-16" ПАО ЧТПЗ. Для технологического процесса получения бесшовной трубы выполнен план расположения технологического оборудования.

Произведен расчет показателей формоизменения металла при калибровании труб на калибровочном стане. Были приведены иллюстрационные материалы результатов расчета, а также схема оборудования, на котором выполняется операция калибрования трубы в процессе производства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия: учебник для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – 6-е изд., перераб и доп. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 768 с.
2. Данилов, Ф. А. Горячая прокатка и прессование труб: учебник для вузов / Ф. А. Данилов, А. З. Глейберг, В. Г. Балакин. – М.: Металлургия, 1972. – 576 с.
3. Каталог продукции / ОАО ТМК, 2017. – 28 с
4. Каталог продукции / ОАО ЧТПЗ, 2008. – 44 с.
5. Осадчий, В. Я. Технология и оборудование трубного производства: учебник для вузов / В. Я. Осадчий, А. С. Вавилин, В. Г. Зимовец, А. П. Коликов. – М.: «Интрнет Инжиниринг», 2001. – 608 с.
6. Потапов, И. Н. Теория трубного производства: учебник для вузов / И. Н. Потапов, А. П. Коликов, В. М. Друян. – М.: Металлургия, 1991. – 399 с.
7. Суворов, И.К. Обработка металлов давлением: учебник для вузов / И. К. Суворов. - М.: Высшая школа, 1980. – 364 с.
8. Технология производства труб / И. Н. Потапов, А. П. Коликов, В. Н. Данченко и др. – М.: Металлургия, 1994. – 528 с.
9. Чикалов, С.Г. Производство бесшовных труб из непрерывнолитой заготовки. – Волгоград: Комитет по печати и информации, 1999. – 416 с.
10. Шевакин, Ю.Ф. Производство труб: учеб. пособие / Ю.Ф. Шевакин, А.П. Коликов, Ю.Н. Райков; под ред. Ю.Ф. Шевакин. – М.: Интернет Инжиниринг, 2005. – 586с.