

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Южно-уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)  
Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»  
Кафедра «Машины и технологии обработки материалов давлением»

**РАБОТА ПРОВЕРЕНА**

Рецензент, должность

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой, степень, звание

\_\_\_\_\_  
/В.Г. Шеркунов, д.т.н., проф./

«  » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**Разработка схемы технологического производства труб большого**

**диаметра из высокопрочных сталей**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**ЮУрГУ–150400.62.2016.120801893.ВКР**

(номер специальности, год, номер студенческого билета)

Руководитель, должность

\_\_\_\_\_  
 Горячев Е.А./

« 10 » 06 \_\_\_\_\_ 2016 г.

Автор

студент группы МиМТ-484

\_\_\_\_\_  
 Савкин В.Ю./

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016г.

Челябинск 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(национальный исследовательский университет)

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»  
Кафедра «Машины и технологии обработки материалов давлением»  
Направление 150400.62 «Металлургия»

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой МиТОМД

Шеркунов В.Г.

«» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**З А Д А Н И Е**

на выпускную квалификационную работу студента

Савкин Виталий Юрьевич

(фамилия, имя, отчество написать полностью)

Группа МиМТ-484

1. Тема работы: Разработка схемы технологического производства труб  
большого диаметра

из высокопрочных сталей

утверждена приказом по университету от \_\_\_\_\_ 2016 г. № \_\_\_\_\_

2. Срок сдачи студентом законченной работы: 1 июня 2016 г.

3. Исходные данные к работе :периодическая и учебная литература.

4.Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих  
разработке вопросов)

1.Обзор методов производства труб большого диаметра.

2.Способы производства высокопрочных сталей.

3. Основные технологии получения заготовок для производства труб.

4. Разработка схемы технологического процесса.
5. Выбор технологического оборудования.
6. Возможности автоматизации процесса.
7. Экономические показатели производства труб большого диаметра.
5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А4)
1. Схема технологического процесса- 1л
2. Методы производства труб-1л
3. Технологическое оборудование-1л

Всего 3 листа

6. Дата выдачи задания: 20 февраля 2016 г. \_\_\_\_\_

Руководитель: Горячев Е.А. \_\_\_\_\_ 

Задание принял к исполнению Савкин В.Ю. \_\_\_\_\_ 

## АННОТАЦИЯ

Савкин В.Ю. Разработка схемы технологического производства труб большого диаметра из высокопрочных сталей. Челябинск: ЮУрГУ, МиМТ; 2016, 54 с. 13 ил., библиографический список – 9 наименований, 2 таблицы.

Цель выпускной квалификационной работы разработать схему технологического производства труб большого диаметра, провести анализ методов производства труб. Определить основные технологии для получения заготовок из высокопрочных сталей.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1.ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА.....	7
1.1. Дуговая сварка труб большого диаметра.....	8
1.2. Производство спиральношовных труб.....	13
2.СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ.....	27
2.1.Термомеханическая обработка.....	27
2.2.Старение мартенсита.....	30
3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ.....	36
4.РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	39
5.ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	47
6. ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА.....	50
7. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА.....	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	54

## ВВЕДЕНИЕ

Производство металла имеет большое значение для развития промышленности и благополучия экономики страны. От развития черной металлургии в значительной степени зависит обеспечение металлом машиностроения, строительства, транспорта, сельского хозяйства и других отраслей.

Технологический процесс получения готового проката осуществляется в прокатных станах (комплекс машин и агрегатов, предназначенный для осуществления пластической деформации металла в валках для получения изделий широкого ассортимента) и является завершающей стадией металлургического производства.

Наряду с увеличением производства проката существует проблема повышения эффективности прокатного производства и качества готового проката. Одним из основных путей решения этой проблемы является внедрение новых технологий.

Технический прогресс в черной металлургии обеспечивается путем увеличения единичной мощности агрегатов, внедрения новых процессов и оборудования, механизации и автоматизации производства.

## 1. ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА.

10% всего мирового производства стали тратится на выпуск труб. Доля сварных труб составляет более половины всего производства и объем их выпуска продолжает расти. Трубы большого диаметра (более 500 мм) изготавливают только сварными. Эффективному применению прогрессивных способов сварки с высокими скоростями способствуют большая протяженность швов, серийный характер производства, относительно простая форма изделий. Эти особенности изготовления стальных труб большого диаметра позволяют полностью механизировать процесс выпуска, максимально оптимизировав его.

Стремительное развитие трубопроводного транспорта способствует расширению производства труб из низколегированных сталей с большим диаметром. В практиках различных стран могут применяться трубопроводы различной величины. Для США характерны сети трубопроводов, в основе которых чаще всего находятся трубы небольшого диаметра. Для России характерна укладка газопроводов диаметром 142 см и рабочим давлением 7,5 МПа.

Для магистральных трубопроводов трубы изготавливают дуговой сваркой под флюсом

### 1.1 Метод дуговой сварки труб большого диаметра.

Дуговой сваркой под слоем флюса с прямым швом производят трубы диаметром 426–1220 мм, толщиной стенки 3–13 мм и длиной 6–12 м, а со спиральным швом – диаметром 426–2500 мм, толщиной стенки 3–15 мм и длиной 12–18 м.

При изготовлении труб дуговой сваркой под слоем флюса с прямым швом в качестве исходной заготовки применяют горячекатаную листовую сталь мерной длины (6–12,5 м), а со спиральным швом – горячекатаную листовую сталь в рулонах.

Технологический процесс изготовления прямошовных труб большого

диаметра состоит из трех стадий: подготовки и формовки листа, сварки труб и их отделки (рис. 1). Со склада металла пакет листов подают мостовым краном на стеллажи листоукладчика, расположенные по обеим сторонам приемного рольганга (такое расположение их позволяет во время работы одного стеллажа укладывать листы на другой стеллаж). Магниты кран-балки снимают со стеллажей из стопы по одному листу и опускают его на ролики рольганга, которыми лист задается в девятивалковую правильную машину 1. После правки лист поступает на транспортер первого кромкострогального станка 2. На этом станке придают параллельность продольным кромкам листа. По выходе из первого кромкострогального станка лист транспортером передается во второй кромкострогальный станок, который снимает с каждой стороны листа по 4 мм припуска, придает листу точную ширину и скашивает продольные кромки под углом  $45^\circ$ ; с нижней стороны листа оставляется притупление на 4–5 мм. В случае необходимости обрезают передний и задний концы листов на гильотинных ножницах 3 с нижним резом, имеющих усилие 0,60 МН (60 тс). Затем лист поступает в дробеметную установку 4, где продольные кромки очищают от окалины на ширине около 70 мм одновременно с верхней и нижней сторон. Зачистка кромок производится струей чугунной дроби.

После этого лист задается рольгангом на трехклетевой валковый кромкогибочный стан 5. На стане совершается подгибка кромок листа по радиусу, близкому к радиусу готовой трубы.

Лист корытообразной формы двухленточным транспортером подается в гидравлический пресс 6 предварительной формовки усилием 5–20 МН (500–2000 тс), в котором ему придается U-образная форма за один ход траверсы. Затем эта заготовка рольгангом задается в пресс 7 усилием 60–170 МН (6000–17000 тс) для окончательной формовки.

С рольгангов-аккумуляторов трубная заготовка передвижным рольгангом передается на приемный рольганг непрерывных станов 8 наружной сварки труб, расположенных в три линии. Каждый стан состоит из пяти двухвалковых клеток (две с вертикальными и три с горизонтальными валками) и одной сварочной.



Сварочная клетка, находящаяся под сварочной головкой, удерживает кромки. Внутри свариваемой трубы помещена оправка с установленным на ней башмаком. Медные пластины башмака образуют гусеницу, которая поджимает в процессе сварки жидкую ванну с внутренней стороны и препятствует протеканию металла. Сварка ведется двумя дугами, горящими в одну ванну. Электроды установлены под углом  $60^\circ$  к образующей трубы. Наружную сварку ведут со скоростью 160 м/ч под слоем флюса марки АН-60 (49% марганцевой руды, 38% кварцевого песка, 13% плавикового шпата).

После окончания наружной сварки к переднему и заднему концам трубы приваривают планки 9, которые предназначены для зажигания дуги и окончания процесса сварки. Затем трубы поступают на один из пяти станов 10 для наложения внутреннего шва. Затем концы труб обрезают на станке 11. После этого по транспортному рольгангу они поступают к станкам 12 для зачистки сварочных швов на их концах (с наружной и внутренней сторон).

На комбинированном гидравлическом прессе-экспандере 13 производят целый комплекс операций: калибровку, правку и упрочнение, а также раздачу трубы внутренним гидравлическим давлением и гидравлическое испытание трубы. Давление экспандирования находится в пределах 8–15 МН/м<sup>2</sup> (80–150 атм). Такой пресс является наиболее надежной машиной для испытания качества сварного шва. Окончательная технологическая операция – снятие фасок с торцов труб на труборезных станках 14.

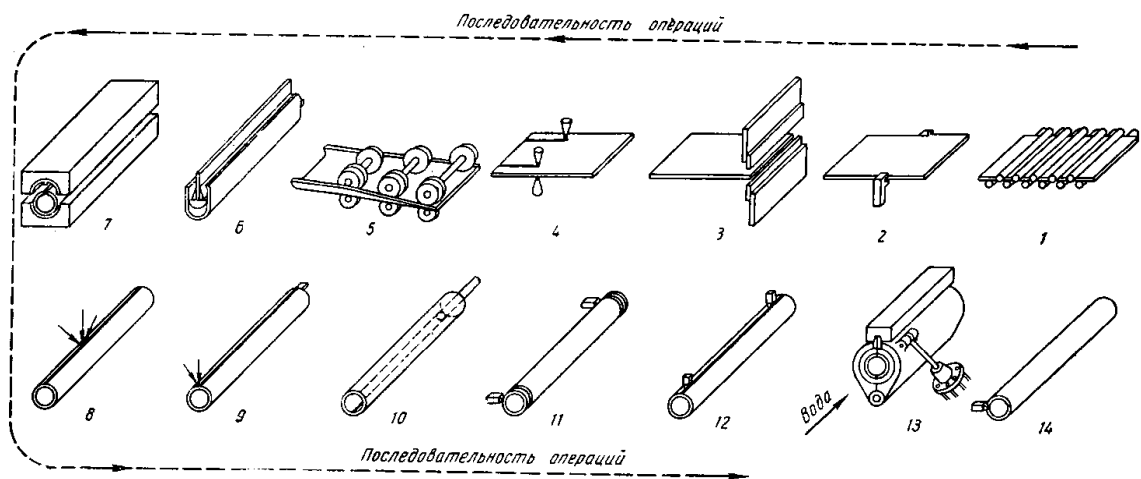


Рис. 1. Схема технологического процесса производства прямошовных труб дуговой сваркой

Рассмотренную технологию применяют и для производства прямошовных труб из двух листов путем формовки их на прессах с последующей сваркой.

Спиральная сварка позволяет использовать лист одной ширины для производства труб различного диаметра. Перевод стана спиральной сварки для изготовления труб другого диаметра требует минимального времени. Длина получаемых труб практически не ограничена. Непрерывность процесса, минимальные производственные площади, небольшое число обслуживающего персонала невысокая производительность труда сделали этот способ сварки наиболее прогрессивным для получения труб большого диаметра. Трубы обладают высокой конструктивной прочностью – на 20–40% выше прямошовных. Станы спиральной сварки труб высоко мобильны и могут быть установлены непосредственно на строительной площадке. К недостаткам спиральной сварки следует отнести большую протяженность сварного шва и меньшую скорость сварки.

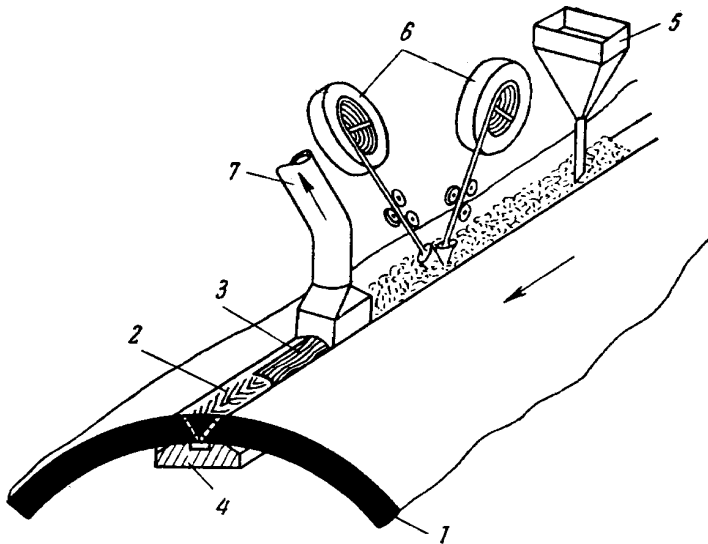


Рис. 2. Схема сварки труб под слоем флюса:

1 – труба; 2 – сварной шов; 3 – шлак; 4 – медный башмак; 5 – подача флюса; 6 – сварочные головки; 7 – отсос избыточного флюса.

Формовка трубной заготовки осуществляется путем пластического изгиба полосы в плоскости, расположенной под некоторым углом  $\alpha$  к продольной оси листа (рис. 3).

Ширина ( $\wedge B$ ) полосы, свернутой в спираль под углом  $\alpha$ , в зависимости от диаметра трубы ( $D$ ) равна  $B = \pi D \cdot \sin \alpha = L \cdot \sin \alpha$ , где  $L$  – периметр трубы по спирали.

Изгиб полосы и последующая навивка ее по спирали совершается в специальном формующем устройстве. Угол спирали  $\alpha = \arcsin B/\pi D$ . В практике угол  $\alpha$  изменяется в пределах  $18\text{--}50^\circ$ . Формующее устройство смонтировано на опорно-поворотной раме, поворотом которой устанавливают угол формовки относительно центра вращения. На опорно-поворотной раме, кроме формующего устройства, находятся: направляющий люнет для удержания выходящей из формующего устройства трубы, сварочная аппаратура и летучий отрезной станок.

Лист прокатывают на непрерывных станах 1700. На станы спиральной

сварки труб он поступает в рулонах массой 8–15 т.

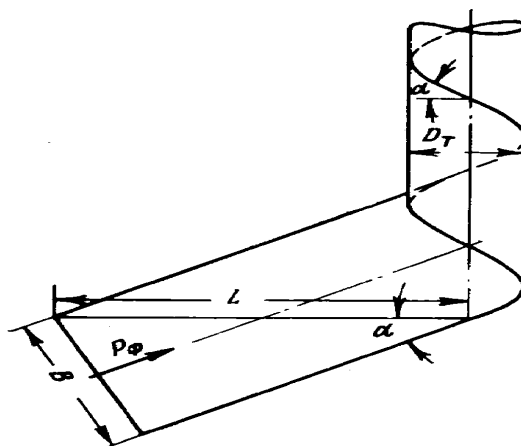


Рис. 3. Схема формовки трубной заготовки при спиральной сварке трубы

Со склада рулоны подают на приемный рольганг разматывателя. С помощью подающих роликов лист задается в девятивалковую правильную машину. После правки лист поступает для поперечной резки на ножницы гильотинного типа. Стыковка концов двух полос совершается на стыкосварочной машине. При этом задний конец предыдущей полосы удерживается подающими роликами, расположенными за стыкосварочной машиной.

Тянущие ролики могут перемещаться в направлении, перпендикулярном продольной оси листа для совмещения стыкуемых полос. Передний конец последующей полосы зажимается в стыкосварочной машине. После совмещения стыков происходит сварка концов. Затем тянущие ролики заполняют петлевую яму ускоренной подачей. Полоса вытягивается из петлевой ямы, протягивается через неприводные дисковые ножницы и подается в формующее устройство подающей машиной. При этом необходимое давление на ролики между тянущими роликами создается гидравлическими цилиндрами. Перед подающей машиной и после полоса удерживается роликовыми проводками или плитами.

В зависимости от диаметра труб используют лист следующей ширины и толщины:

Диаметр трубы, мм .....	530	630	820	1020	1220	1420
Ширина листа, мм .....	1100	1200	1600	1600	1600	1600
Толщина листа, мм	4-9	5-9	6-12	8-12	11-12	11-14

Для сварки применяют три сварочные головки. Применяют ту же схему дуговой сварки под слоем флюса того же состава, что и при сварке труб с прямым швом. Кромки полосы при их сближении в процессе формовки сваривают вначале внутренней сварочной головкой. Наружную сварку выполняют через полвитка спирали в верхней точке трубы. Еще через полвитка в нижней точке трубы производят вторую внутреннюю сварку. Наружная сварка совершается двумя электродами, один из которых питается постоянным током, а другой – переменным. Сваренную трубу режут на длины 8–14 м летучим отрезным станком, оборудованным двумя механизированными кислородными резаками. Готовые трубы проходят испытание на гидравлических прессах с манжетным уплотнением, без осевого сжатия. Трубы, изготовленные на станах спиральной сварки, не нуждаются в дополнительной правке и калибровке концов.

## 1.2. Производство спиральношовных труб.

В качестве примера производства спиральношовных труб рассматривается технология производства спиральношовных трубы на Волжском трубном заводе.

Сварка спиральношовных труб осуществляется тремя сварочными головками. Кромки полосы при их сближении в процессе формовки сваривают вначале внутренней сварочной головкой. При этом для обеспечения качественного шва расстояние между кромками не должно превышать 0,2 – 0,3 мм. Питание сварочной головки осуществляется как постоянным, так и переменным током. Установка трех сварочных головок обеспечивает высокую скорость сварки ~ 1,5 – 2,0 м/мин.

На современных ТЭСА 530 – 1420 сварку спиральношовных труб выполняют двухслойной или трехслойной.

Сварку труб диаметром 530 – 820 мм выполняют двухслойной. Глубина провара внутреннего рабочего шва составляет 0,6 – 0,7 от толщины стенки в месте

контакта кромки полосы с витком трубы. Наружный шов выполняют через половину витка спирали с глубиной проплавления, обеспечивающей перекрытие с внутренним швом на 2 – 3 мм.

На отечественных ТЭСА 1020 и 1420 применяют трехслойную сварку спирального шва. В месте схождения кромок ленты и первого витка трубы накладывается первый внутренний технологический шов, назначение которого – устранить возможность смещения кромок при наложении рабочих швов. Через полвитка после технологического шва накладывается наружный рабочий шов и через шаг спирали от первого внутреннего шва – второй внутренний рабочий шов, полностью переваривающий технологический шов. Сварка внутреннего шва осуществляется сварочным автоматом модели, состоящим из двух головок. Первая головка сваривает технологический шов (технологическая головка), а вторая головка – внутренний рабочий шов (рабочая головка).

Применение трехслойной сварки труб диаметром 1020 – 1420 мм позволяет достигнуть более высоких скоростей сварки (1,8 – 2 м/мин) лучшего качества изготавливаемых труб благодаря гарантированному отсутствию горячих трещин в спиральном шве.

На Волжском трубном заводе введены в эксплуатацию трубоэлектросварочные станы для производства нефтегазопроводных спиральношовных труб большого диаметра [6]. Все станы универсальны и предназначены для изготовления спиральношовных труб диаметром 530 – 1420 мм, толщиной стенки 4 – 14 мм, длиной 8 – 14 м.

Для изготовления труб используют полосу в рулонах из углеродистой или хорошо свариваемой низколегированной стали.

Наружный диаметр рулона 1400 – 2200, внутренний 700 или 850 мм. Допуск по ширине ленты + 20 мм, допускаемая серповидность полосы на длине 10 м – не более 15 мм.

Для сварки труб используют омедненную сварочную проволоку диаметром 3 и 4 мм и сварочный флюс АН-60 [9].

Оборудование для производства труб скомпоновано в две самостоятельные технологические линии, каждая из которых состоит из пяти трубоэлектросварочных станов и трубоотделки. Схема производства спиральношовных труб показана на рис. 4.

Рулоны со склада с помощью мостового крана устанавливают на неподвижный транспортер 1 кантователя, где производится кантовка рулона из положения с вертикальной осью в положение с горизонтальной осью вращения. Далее рулон передается на поворотный стол транспортной тележки, так чтобы при установке рулона на загрузочную тележку стана передний конец полосы был направлен снизу вверх в сторону конусов разматывателя рулонов. При задаче рулонов в станы поворотным устройством рулон снимается с транспортной тележки и устанавливается на загрузочную тележку стана. Плечо поворотного устройства стана устанавливают напротив отверстия рулона и вводят внутрь на всю ширину рулона, затем поднимают вместе с рулоном до освобождения транспортной тележки и поворачивают так, чтобы рулон расположился точно над загрузочной тележкой, при этом стол загрузочной тележки находится в нижнем положении. Плечо с рулоном опускают на стол тележки, освобождают от рулона и устанавливают в исходное положение.

После выхода заднего конца полосы предыдущего рулона из конусов разматывателя конуса разводят и загрузочную тележку с рулоном подают к конусам. Подъемом стола тележки ось рулона совмещается с осью конусов, рулон зажимается конусами разматывателя и центрируется относительно оси стана.

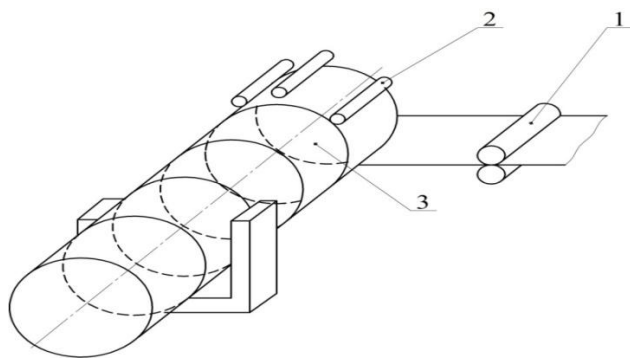


Рис. 4. Схема производства спиральношовных труб: 1 – транспортер; 2 – формовочные кассеты; 3 – первый сформованный виток полосы

Вращением конусов по часовой стрелке рулон устанавливается так, чтобы передний конец оказался ниже уровня кромки ножа скребкового отгибателя. Нож скребкового отгибателя подводят к рулону и вращением рулона конусами передний конец полосы подается между разматывающими роликами. На суппортах конусов сводятся ролики центрователя.

Верхний ролик разматывателя опускается вниз до образования зазора между нижними и верхними роликами, разматывающая клеть подается к правильной машине. Стол загрузочной тележки опускают вниз до образования зазора между роликами стола и рулоном. Верхний разматывающий ролик опускают на полосу и отключают привод вращения конусов разматывателя, чтобы при задаче полосы в правильную машину они вращались свободно. Затем включают привод разматывающих роликов, правильной машины и в нее подают передний конец полосы.

После выхода переднего конца полосы из правильной машины отключают привод разматывающих роликов, и скребок поднимается вверх.

В случае неисправности поворотного устройства задачу рулонов в стан производят с помощью скобы или троса только после демонтажа поворотного устройства[4].

Величину перекрытия рабочих валков правильной машины устанавливают при заправленной в машину полосе. Критерием правильной настройки правильной машины служит достижение прямолинейности выходящей полосы. В процессе правки на поверхности полосы не должны появляться вмятины, риски и другие дефекты.

При выходе заднего конца полосы из правильной машины нижний регулируемый ролик опускается вниз для обеспечения плотного прижатия конца к медной подкладке при сварке поперечного шва. После выхода заднего конца полосы из правильной машины полосу центрируют относительно оси стана.

На гильотинных ножницах осуществляют обрезку переднего и заднего концов полосы с целью удаления дефектов поверхности металла, обрезки «языка» рулона и получения необходимой ширины. Длина обрезки концов на станах при



удалении «языка» рулона и получения необходимой ширины должна составлять не более 1000 мм с каждого конца рулона. От момента зажима полосы до подъема прижима гильотинные ножницы перемещаются к калибровочным ножницам тянущим усилием полосы, которая движется со скоростью сварки. Отрезанный конец полосы остается между подающими роликами гильотинных ножниц. Длина обрезаемого заднего конца должна быть не менее 750 мм, чтобы обеспечить возможность его выброса назад подающими роликами. Вращением подающих роликов задний конец полосы выбрасывается из гильотинных ножниц.

После выброса заднего конца полосы и возвращения гильотинных ножниц в исходное положение включением привода правильной машины передний конец следующего рулона подают в зону реза гильотинных ножниц на необходимую величину, после чего производят обрезку переднего «языка» полосы[6].

Включением привода правильной машины передний конец полосы подают в зону первого центрователя калибровочных ножниц. При подаче полосы толщиной до 8 мм необходимо приблизить гильотинные ножницы к калибровочным. Для полос толщиной более 8 мм эту операцию не производят. Перемещением конусов разматывателя и центрирующими роликами осуществляют установку полосы относительно оси стана. После центрирования полосы включением вращения роликов правильной машины передний конец полосы подают в зону калибровочного реза.

Подачу концов полос в зону калибровочного реза производят при визуальном наблюдении за их положением через окно в траверсе.

В зоне калибровочного реза концы полос зажимают прижимными балками калибровочных ножниц, прижимами гильотинных ножниц и тормозными валками суппорта. По окончании зажима производят калибровочный рез концов полос. Ширина отрезаемых полос при калибровочном резе должна быть в пределах 80 – 150 мм.

По окончании калибровочного реза и поднятия прижимов за счет тянущего усилия полосы суппорт калибровочных ножниц с зажатой полосой передвигается

в крайнее положение, при этом задний конец полосы должен попасть в ось сварки.

Передний конец полосы при перемещении гильотинных ножниц подается в ось сварки. Затем производят зажим полосы прижимами калибровочных ножниц и зажимными балками, расположенными по обеим сторонам от оси сварки. После этого поднимают прижимы гильотинных ножниц и ножницы возвращают в исходное положение. Оборудование можно считать готовым для выполнения поперечной сварки полос.

Сварку концов полос производят под флюсом марки АН-60 [9] с использованием омедненной проволоки марок СВ-08 ГА, СВ-10 ГА на медной подкладке. Подкладка и концы стыкуемых полос должны быть очищены от масла, окислы и других загрязнений.

На станах сварка производится с установкой технологических планок, изготовленных из той же марки стали, что и свариваемые полосы. Допускается использование планок из других хорошо свариваемых марок стали. Толщина технологических планок должна соответствовать толщине свариваемых полос. Технологические планки устанавливают длинной стороной вдоль торцевых кромок полосы. Зазор между стыкуемыми концами полос должен быть постоянным по стыку полосы и находиться в пределах 0 – 1,5 мм. Стык планок должен служить продолжением стыка конца полос. При отсутствии «зуба» на стыке разрешается устанавливать одну технологическую планку.

Перед началом процесса сварки необходимо проверить параллельность стыка полос по отношению к направлению движения сварочного автомата. Отклонение электродов от оси стыка не должно превышать 1,5 мм. Сварка концов полос ведется на проход. Сварка начинается и заканчивается на технологических планках на расстоянии 60 – 80 мм от кромки полосы. Режимы сварки устанавливаются в зависимости от толщины листа. Отклонение скорости сварки от заданной допускается в пределах  $\pm 0,1$  м/мин. При получении некачественного сварного шва, шов вырезают, и переваривают повторно. После выхода

поперечного шва из стыкосварочного агрегата убирают с полосы остатки флюса и шлаковую корку.

При отсутствии полосы в стане подача ее (при толщине – менее 10 мм) до формовочного устройства осуществляется в следующем порядке:

- центрируют передний конец полосы при выходе его из пятивалковой правильной машины;
- прижимают полосу калибровочными ножницами и тормозными валками;
- стыкосварочный агрегат подают к дисковым ножницам;
- поднимают прижимы калибровочных ножниц;
- тормозными валками полосу подают в толкающие валки и далее в формовочное устройство.

При отсутствии полосы в станах в случае необходимости после подачи ее до дисковых ножниц рекомендуется задавать полосу при помощи «иглы» следующим образом:

- в толкающие валки со стороны дисковых ножниц подают «иглу» (полоса металла шириной 200 – 300 мм);
- приваривают к «игле» передний конец полосы;
- подают полосу толкающими валками в формовочное устройство.

По мере выхода «иглы» из толкающих валков ее разрезают на куски. При этом необходимо предохранять поверхность толкающих валков от налипания металла.

При перевалках стана (на другой диаметр или другую ширину полосы) новую полосу приваривают к предыдущей, режимы сварки устанавливают для более тонкой из двух свариваемых полос. Для получения необходимой постоянной ширины полосы производят обрезку ее боковых кромок на дисковых ножницах, а затем с помощью кромкообрабатывающих роликов окончательно прикатывают кромки.

Для центрирования полосы по оси стана при ее подаче в дисковые ножницы служат центрирующие ролики. Настройку центрирующих роликов производят при переходе с одной ширины полосы на другую, при этом устанавливают

каретки центрирующих роликов симметрично относительно оси стана на требуемую ширину полосы, а горизонтальные направляющие ролики – с зазором 5 – 10 мм от поверхности полосы для обеспечения прохода поперечного сварного шва.

При настройке дисковых ножниц станины устанавливают так, чтобы расстояние между верхними ножами соответствовало требуемой ширине полосы и ножи были расположены симметрично относительно оси стана. Верхние направляющие ролики, укрепленные на траверсе, устанавливают равномерно по всей ширине с зазором 10 – 20 мм от поверхности полосы. Замену ножей производят по утвержденному графику, внеплановая замена – в случае появления на кромках полосы дефектов вследствие затупления или выкрашивания ножей. При этом вновь устанавливаемые ножи должны быть того же диаметра, что и работающие.

Обрезанную на дисковых ножницах кромку разрезают кромкокрошительными ножницами на куски, которые по наклонным желобам попадают в короба.

После обрезки боковых кромок полосу на станах подвергают окончательной правке на семивалковой правильной машине.

Обрезанная полоса подается в кромкообрабатывающие ролики. Поверхность кромок после обработки должна быть без вмятин, раковин и заусенцев. Величина раскатываемого слоя кромкообрабатывающими роликами должна составлять 0,5 – 1,0 мм на сторону[2].

Перед подачей в формовочное устройство полоса должна быть установлена симметрично относительно оси стана центрирующими устройствами перед и за толкающими валками.

В соответствии с диаметром трубы, шириной и толщиной полосы определяют угол формовки.

Поворот формовочного устройства производят на угол формовки и перемещают его относительно правого края ленты. Указатель установки формовочного оборудования должен показывать по шкале расчетный угол

формовки и ширину полосы после кромкообрабатывающих роликов согласно таблицам. Точную установку формовочного оборудования контролируют визуально по положению сварочной проволоки первой головки относительно правого края ленты. Передние и задние формовочные кассеты должны быть установлены симметрично относительно оси формовочной части стана в соответствии с диаметром труб. Все ролики формовочного устройства должны быть установлены на угол формовки. Ролики калибровочной пары устанавливаются на  $1 - 2^\circ$  меньше угла формовки, а нижние формовочные кассеты – вдоль оси трубы так, чтобы каждая пара роликов кассет и соответствующий ролик плеча находились примерно в одной вертикальной плоскости, параллельно правой кромке полосы. Точную настройку кассет вдоль оси трубы производят после формовки первого витка по следам на поверхности трубы от роликов.

Формовочные кассеты 2, формовочное плечо, кассеты формирующего люнета, ролики регулирующего люнета и опорные ролики устанавливают в соответствии с картой настройки, разработанной на каждый диаметр трубы для каждого стана. Регулирующий люнет устанавливают по оси формовочного оборудования по рискам на станине.

После вышеуказанных операций поднимают формовочное плечо и полосу заводят до формовочных роликов задней кассеты, плечо устанавливают в соответствии с требованием карты настройки стана и первый виток полосы заформовывают перемещением ее вперед.

На сформованном первом витке полосы настраивают первую сварочную головку, по мере продвижения трубы последовательно – вторую сварочную головку и третью (в случае трехслойной сварки)[7].

После получения трубы номинального диаметра необходимо настроить автомат регулирования сварочного зазора и слежения электродов первой и второй сварочных головок за швом. При трехслойной сварке необходимо настроить автомат слежения электродов третьей сварочной головки 6 за швом и оборудование системы слежения за положением третьей сварочной головки относительно «надира» трубы. Следует откорректировать настройку формирующего

и регулирующего люнета, кассет нижних формовочных роликов и суппортов калибровочных роликов. Все ролики формующего люнета должны касаться поверхности трубы номинального диаметра в нулевом положении регулирующего люнета. Нижний ролик регулирующего люнета устанавливают с зазором 5 – 10 мм от поверхности трубы. Затем производят настройки периметромера.

При правильной настройке формовочного устройства в процессе производства труб показатель положения регулирующего люнета должен перемещаться в пределах  $\pm 10$  мм от нуля при номинальном диаметре трубы.

На поверхности трубы не допускаются царапины от неработающих роликов, задиры и другие дефекты. Правые крайние ролики в случае их выхода из строя подлежат обязательной замене. При работе кромкогибочных роликов допускается зазор между трубой и крайними роликами задней формующей кассеты.

При замене роликов нижних кассет, непосредственно на стане, диаметр устанавливаемого ролика должен быть равен диаметру соседних роликов ряда. При замене роликов на плече необходимо после их установки отрегулировать ролики по высоте так, чтобы рабочая поверхность роликов была на одном уровне. Замену роликов производят при поднятом плече. Правильность установки роликов проверяют измерением расстояния от их рабочей поверхности до поверхности кассеты (плеча). Нажимные ролики по высоте настраивают на ремонтном участке при сборке кассет, а ролики плеча – непосредственно на стане. Допустимая волнистость поверхности трубы от формовочных роликов не должна превышать 1 – 5 мм.

После полной настройки формовочного оборудования настраивают кромкогибочные ролики, которые должны быть установлены так, чтобы расстояния от центра правых и левых роликов до кромки полосы были одинаковы и составляли 50 – 60 мм. Установку роликов проверяют ежемесячно, во время остановки стана[3].

Правильность настройки кромкогибочных роликов по высоте проверяют по величине прогиба кромок у спирального шва трубы с помощью специального прибора. В процессе настройки роликов необходимо постоянно контролировать

величину превышения кромок на трубе. Превышение кромок устраняют, увеличивая или уменьшая подгибки кромок.

Предельные значения допусков по диаметру труб, изготавливаемых на станах первой линии, устанавливают в зависимости от изменения диаметра труб в термическом отделении и трубоотделки. На основании полученных данных об изменении диаметра труб в процессе термообработки мастер смены принимает решение об установке предельных значений допусков по диаметру.

При производстве труб без термоупрочнения, допуски по диаметру на станах на 0,6 мм ниже номинального значения, с учетом раздачи труб при гидроиспытании. Допуски по диаметру для труб указаны в соответствующей нормативно-технической документации. Сварку спирального шва труб производят на стане одновременно с процессом формовки, она может выполняться двух- или трехслойной. Двухслойная сварка применяется при изготовлении труб с толщиной стенки от 5 до 12,5 мм: первый шов – внутренний рабочий, второй шов – наружный рабочий через половину витка спирали, обеспечивающий перекрытие внутреннего сварного шва.

Внутренний шов сваривают двумя дугами. Сварка труб с толщиной стенки более 12,5 мм, а также при наличии требований технической документации для труб с толщиной стенки 10 мм и более трехслойная первый шов – внутренний технологический, второй шов – наружный рабочий через полвитка от технологического шва; третий шов – внутренний рабочий, обеспечивающий перекрытие швов.

Внутренний технологический шов сваривают одной дугой, а 3-й шов – двумя дугами. Сварка наружного шва при двух и трехслойной сварке производится одной дугой[1].

Для сварки спиральных швов труб применяют омедненную сварочную проволоку диаметром 3 мм (для сварки внутренних швов) и диаметром 4 мм (для сварки наружного шва), сварочный флюс марки АН-60. При трехслойной сварке для сварки внутреннего технологического шва допускается использование сварочной проволоки диаметром 4 мм.

Сварку производят со смещением электродов в сторону, противоположную вращению трубы. При наложении наружного шва сварка ведется «на спуск», при наложении внутреннего шва – «на подъем».

Технологический или первый рабочий шов сваривают на медной сварочной подкладке (башмаке), профиль рабочей поверхности которой должен соответствовать диаметру трубы и углу формовки.

Во время работы стана необходимо постоянно следить за положением электродов относительно стыка кромок. Допустимое смещение электродов относительно стыка не должно превышать половины диаметра электрода. Направление по шву электродов первой технологической головки осуществляется автоматом АРЗ-АСС-1 или вручную по световому указателю; электродов второй сварочной головки – автоматом АСС-2 или вручную по световому указателю. Наведение электродов третьей сварочной головки на стык (при трехслойной сварке) осуществляется автоматом АСС-3 или вручную по прогреву шва. Настройку и эксплуатацию автоматов, наведение электродов сварочных головок на шов производят по инструкциям, а настройку системы слежения электродов третьей сварочной головки за положением относительно надира трубы – в соответствии с технологическими параметрами [9].

Величина зазора по стыку кромок в месте сварки должна быть 0 – 1,0 мм. При искрении между контактными губками и проволокой в процессе сварки, а также при колебании напряжения, установленного при сварке, более  $\pm 3$  В необходимо остановить стан и произвести замену или зачистку контактных губок. Качество сварного шва должно отвечать требованиям ГОСТа или спецификаций, по которым изготавливают трубы. Ширина сварных швов должна быть: наружного 12 – 25 мм; внутреннего 12 – 28 мм.

При двухслойной сварке угол сдвига фаз между дугами первой сварочной головки должен быть  $60^\circ$ , при трехслойной – между дугами третьей сварочной головки  $120^\circ$ .

Непрерывно движущиеся трубы на мерные длины режут плазменной дугой. При настройке установки для резки труб промежуточную подвижную раму



устанавливают так, чтобы ось тележки совпала с осью формовочного устройства, затем заводят трубу в тележку и зажимают ее.

Несущий стол плазменной головки располагают по высоте так, чтобы головка находилась в плоскости горизонтального диаметра трубы и устанавливалась так, что при подаче ее к трубе зазор между ее поверхностью и трубой составлял 10 – 12 мм.

В случае несовпадения начала и конца реза следует перемещением продольного суппорта вручную вывести конец реза на его начало. Несовпадение начала и конца реза на трубе (величина «зуба») должно быть не более 5 мм.

Для поддержания отрезанной трубы на стане и подачи ее к устройству для высыпания флюса служит выходная установка. Для ее настройки необходимо с пульта управления выставить выходную установку по оси формовочного устройства, проконтролировать угол поворота по рискам, нанесенным на дуге рейки выходного устройства, зафиксировать это положение конечным выключателем, помещенным на этой же дуге. Поддерживающие и транспортирующие ролики выходной установки поворачивают на угол формовки. Установка угла поворота производится по рискам, нанесенным на посадочные плиты роликов.

Трубы, имеющие поперечный шов, рольгангами и транспортерами доставляют на участок сварки поперечного шва. Перед сваркой кромки ленты подвергают огневой зачистке[4].

Неустранимые дефекты на трубах вырезают на участке, где установлены два трубоотрезных станка с кислородно-ацетиленовыми горелками. Трубы длиной менее 8 м поступают на участок, где их сваривают попарно, так чтобы суммарная длина была не менее 10 м.

Трубы с поперечным и кольцевым швом и трубы, имеющие отметки ультразвукового дефектоскопа, транспортируют к рентгенотелевизионной установке. Если в сварных швах обнаруживают недопустимые дефекты, то такие трубы направляют на участок ремонта либо внутренних, либо наружных швов.

На участке наружного ремонта трубы перемещают с помощью косорасположенных роликов. Угол поворота роликов регулируют в зависимости от диаметра труб так, чтобы при их винтообразном перемещении был обеспечен удобный визуальный осмотр сварного шва и выполнение ремонтных операций.

Отремонтированные трубы поступают к рентгенотелевизионной установке и после контроля качества наружного шва – к трубоотрезным станкам. Для каждой группы станков предусмотрено четыре трубоотрезных станка. Труба заходит в стационарном положении, а концы ее обрезают под углом 25 – 30° кислородно-ацетиленовой горелкой. Конец трубы отрезают за один полный поворот горелки вокруг трубы.

Кольцевое притупление шириной 1 – 3 мм на торцах труб выполняют на шлифовальных станках. На этом заканчивается технология изготовления спиральношовных труб.

## 2. СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ.

Высокопрочная сталь — сталь с пределом прочности не ниже 1800÷2000 МПа. Для достижения столь высокой конструктивной прочности сталь должна сочетать в себе высокую прочность и высокое сопротивление хрупкому разрушению.

Существует два способа производства высокопрочных сталей: термомеханическая обработка с закалкой из области стабильного аустенита и старение мартенсита. При реализации первого способа сталь переводят в состояние аустенита, охлаждают примерно до 500°С, упрочняют механической обработкой и, наконец, превращают в мартенсит закалкой до 20°С. В легированных сталях возможность этой обработки определяется наличием зазора между перлитной и бейнитной полосами на диаграмме время – температура – превращение, в этом интервале аустенит можно деформировать без превращения. Температура механической обработки лежит ниже температуры рекристаллизации, вследствие чего деформирование с технической точки зрения является наклепом и происходит деформационное упрочнение.

### 2.1. Термомеханическая обработка.

Термомеханическая обработка стали заключается в сочетании механической обработки давлением (прокатки, штамповки) с термической обработкой (закалкой). Это позволяет повысить прочность стали как в результате наклепа, который получается при пластической деформации, так и вследствие закалки. Благодаря этому при термомеханической обработке удастся достичь более высокого упрочнения, чем при обычной закалке. Существует два основных способа термомеханической обработки.

1. Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО). Она заключается в том, что непосредственно после горячей обработки давлением (прокатки, штамповки), когда сталь имеет температуру выше  $A_{c3}$  и аустенитную

структуру, проводится резкое охлаждение— закалка. За короткое время между окончанием прокатки (или штамповки) и закалкой рекристаллизация не успевает произойти. В связи с этим наклеп и упрочнение, которые возникли при пластической деформации во время прокатки или штамповки, не устраняются и остаются в стали после ее остывания. После закалки к этому добавляется еще упрочнение вследствие образования твердой мартенситной структуры. Мартенсит, образующийся в этих условиях, кроме своих дислокаций как бы наследует дислокации, возникшие при наклепе. Ясно, что чем короче промежутки времени между окончанием прокатки и закалкой, когда сталь имеет высокую температуру, тем больше сохранится дислокаций и тем больше будет эффект упрочнения. Практически, этот отрезок времени составляет несколько секунд, в течение которых частично происходит рекристаллизация, что снижает эффект упрочнения. Это один из главных недостатков способа ВТМО. Схематически сущность его иллюстрирует рис. 1.а.

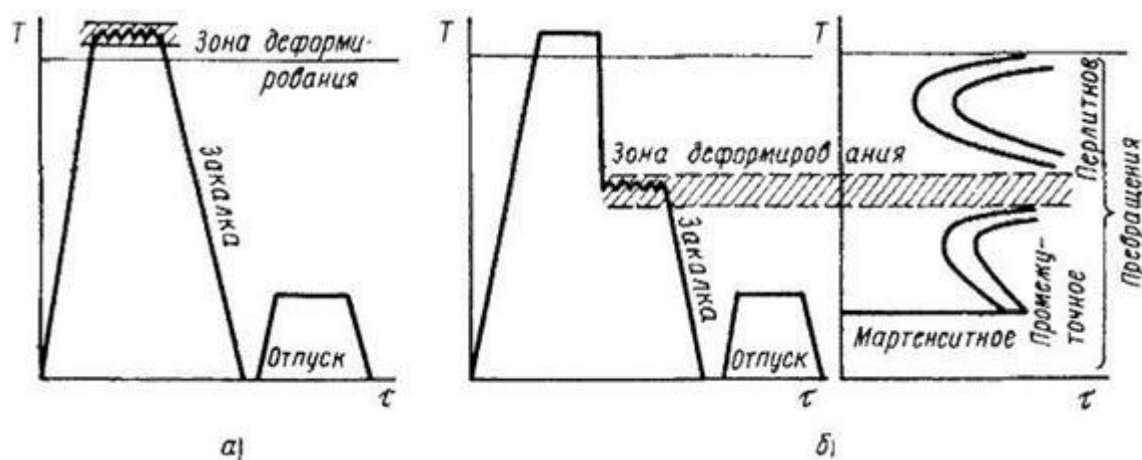


Рис. 5. Схема режимов термомеханической обработки стали: а – высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО); б – низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО)

2. Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО). Сталь нагревают до аустенитного состояния, а затем охлаждают ниже температуры рекристаллизации, но выше температуры начала мартенситного превращения, т. е. в температурном интервале примерно 400—600°С. В этом интервале, в котором еще сохраняется аустенитная структура, производится деформация стали, например штамповка. Деформация вызывает наклеп аустенита, рекристаллизации

же в этих условиях не происходит. Затем проводится закалка: образуется мартенсит, который, как и в предыдущем способе, наследует дислокации, а значит и упрочнение, полученное при деформации. Здесь устранен недостаток первого способа, так как рекристаллизация практически отсутствует, и потому наиболее полно используется эффект упрочнения от наклепа. Однако технологически этот способ сложнее, так как трудно осуществлять обработку давлением в таком узком интервале температур.

После термомеханической обработки как по первому, так и по второму способу нужно проводить отпуск с нагревом в интервале температур 150—300°C.

Термомеханическая обработка позволяет получить предел прочности в стали до 300 кгс/мм<sup>2</sup>, в то время как при обычной закалке он бывает не более 200—220 кгс/мм<sup>2</sup>. Очень важно, что одновременно с повышением прочности возрастает и пластичность. При ВТМО достигается несколько меньший предел прочности — до 240 кгс/мм<sup>2</sup>, но зато повышается сопротивление ударной нагрузке как при обычной, так и при пониженной температуре[5].

В некоторых случаях эффект термомеханической обработки получается в результате несложного усовершенствования технологических операций. На Ленинградском металлическом заводе им. XXII съезда КПСС направляющие лопатки турбин изготавливают из хромистых сталей 12Х13 и 15Х11МФ методом прокатки. По старой технологии они подвергались закалке на воздухе от температуры 1030°C и отпуску при 720°C. По усовершенствованной технологии прокатка лопаток из стали 12Х13 заканчивается при температуре 900—920°C, а из стали 15Х11МФ — при 930—950°C. Непосредственно вслед за этим осуществляется закалка с охлаждением на воздухе и отпуск при температуре 700—720°C. В результате повысились прочностные свойства деталей при сохранении пластических свойств. Кроме того, снизилась трудоемкость их изготовления вследствие упразднения специального нагрева под закалку.

3. Высокотемпературная поверхностная термомеханическая обработка (ВТМПО). Сущность такой обработки заключается в том, что деталь подвергается поверхностному нагреву ТВЧ и одновременно обкатывается роликами. В

результате в поверхностном слое детали, разогретом до аустенитного состояния, происходит наклеп и после закалки образуется мартенситная структура, в которой наследуется дополнительное упрочнение, полученное при обкатке роликами. В отличие от обычной высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) разупрочнения вследствие разрыва по времени между наклепом и закалкой в данном случае не происходит. Метод ВТМПО очень эффективен при упрочнении шеек и галтелей коленчатых валов и других ответственных деталей.

## 2.2. Старение мартенсита.

Старение мартенсита (Марежинг – Maraging) - обработка, целью которой является упрочнение специальных групп сплавов содержащих основной элемент – железо. Процесс выделяет в матрице из безуглеродистого мартенсита один или несколько интерметаллидных соединений.

Мартенситно-старяющие стали (03Н18К9М5Т, 04Х11Н9М2Д2ТЮ) превосходят по конструкционной прочности и технологичности среднеуглеродистые легированные стали. Они обладают малой чувствительностью к надрезам, высоким сопротивлением хрупкому разрушению и низким порогом хладоломкости при прочности около 2000 МПа.

Мартенситно-старяющие стали представляют собой безуглеродистые сплавы железа с никелем (8..25 %), дополнительно легированные кобальтом, молибденом, титаном, алюминием, хромом и другими элементами. Благодаря высокому содержанию никеля, кобальта и малой концентрации углерода в результате закалки в воде или на воздухе фиксируется высокопластичный, но низкопрочный железоникелевый мартенсит, пересыщенный легирующими элементами. Основное упрочнение происходит в процессе старения при температуре 450...550 оС за счет выделения из мартенситной матрицы когерентно с ней связанных мелкодисперсных фаз. Мартенситно-старяющие стали обладают высокой конструкционной прочностью в интервале температур от криогенных до 500 оС и рекомендуются для изготовления корпусов ракетных двигателей,

стволов артиллерийского и стрелкового оружия, корпусов подводных лодок, батискафов, высоконагруженных дисков турбомашин, зубчатых колес, шпинделей, червяков и т.д.

Мартенситно-старяющие стали отличает особый механизм упрочнения, основанный на выделениях интерметаллидов типа Ni (Ti, Al), Ni<sub>3</sub>Ti, Ni<sub>3</sub>Mo при нагреве 400—550 °С твердых рартворов железа с никелем и добавками различных элементов замещения. При этом обеспечивается  $\sigma_{\text{тв}} = 1500-4-2000$  МПа, а для ряда композиций до 2800 МПа. Максимальное упрочнение при старении достигается в безуглеродистых сплавах как необходимым условием предотвращения связывания легирующих элементов в карбиды. Поэтому образующийся при закалке таких сталей мартенсит сравнительно мягок ( $\sigma_{\text{тв}} = 700—1100$  МПа) и пластичен[2].

При закалке сплавов на основе полиморфных металлов, в том числе сталей, быстрое закалочное охлаждение с температур высокотемпературной фазы (аустенита - в сталях) подавляя обратное диффузионное превращение, не может подавить перестройки решетки, обусловленной явлением полиморфизма. Поэтому, при закалке сталей такое обратное полиморфное превращение происходит бездиффузионным путем по особому механизму, называемому мартенситным. Образующаяся структура называется мартенситом. На микроструктуре она имеет игольчатый характер, что обусловлено рассечением плоскостью шлифа очень тонких, располагающихся под углом друг к другу пластинчатых кристаллов мартенсита. Мартенсит в стали - это пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$  - железе. Кристаллическая решетка мартенсита аналогична ОЦК решетке равновесной при комнатной температуре фазе - ферриту. Однако она имеет тетрагональное искажение (вытянутость решетки вдоль одной из осей куба) на величину, пропорциональную степени пересыщения углеродом. Степень тетрагональности (отношение осей решетки  $c/a$ ) равна:

$$c/a = 1 + 0,046 P,$$

где P - содержание углерода, %.

Такое искажение кристаллической решетки является главной причиной упрочнения стали после закалки. Другой причиной упрочнения является фазовый наклеп мартенсита, обусловленный тем, что перестройка решетки при мартенситном превращении сопровождается актами внутрикристаллитной пластической деформации, что вызывает резкое увеличение плотности дислокаций. Третья причина высокой твердости мартенсита связана с частичным распадом мартенсита в период закалочного охлаждения с выделением высокодисперсных карбидных частиц, упрочняющих сталь. Твердость после закалки средне- и высокоуглеродистых сталей может достигать 60 - 65 ед HRC., что обеспечивает достижение высокой износостойкости и прочности стали при минимальной пластичности. Способность стали повышать свою поверхностную твердость в результате закалки называется закаливаемостью.

Мартенситное превращение развивается только в условиях непрерывного охлаждения между точками начала ( $M_n$ ) и конца ( $M_k$ ) мартенситного превращения, значения которых зависят от содержания углерода в аустените

Кроме того, положение мартенситных точек зависит от содержания легирующих элементов.

Чем больше степень легирования, тем ниже температуры начала и конца мартенситного превращения. Для многих сталей точка конца мартенситного превращения лежит ниже комнатной температуры.

Поэтому, после закалки в структуре стали всегда присутствует остаточный аустенит. Существуют и другие причины сохранения в стали остаточного аустенита. На положение точек мартенситного превращения оказывает влияние деформация.

Основными технологическими параметрами закалки стали являются: температура нагрева, время выдержки и скорость охлаждения. Для сталей нагрев под закалку должен обеспечить осуществление при нагреве аустенитного превращения, а также полное или частичное растворение в образующемся аустените избыточной фазы (феррита - в доэвтектоидной стали, вторичного цементита или карбидов - в заэвтектоидных углеродистых или легированных



сталях). Температура нагрева под закалку зависит от положения критических точек для каждой конкретной стали.

Для доэвтектоидных сталей температура нагрева под закалку должна быть выше температуры  $A_{c3}$  на 20 - 30 °С, иногда на 50 °С. Наиболее высокая температура может быть назначена при термической обработке легированных, особенно природно-мелкозернистых сталей или в случае применения высокоскоростного нагрева под закалку, например, при закалке токами высокой частоты (т.в.ч.) либо других методах поверхностной закалки. Использование температур нагрева, превышающих оптимальные значения, приводит к избыточному, часто недопустимому росту аустенитного зерна и получению грубоигольчатого мартенсита после закалки и снижению прочностных и пластических характеристик стали[8].

Заэвтектоидные стали нагревают под закалку до температур на 35 - 60 °С выше точки  $A_{c1}$ , но ниже точки  $A_{cm}$ . При этом сохраняются после закалки частицы вторичного цементита (карбидов - в легированных сталях), что не снижает прочностные характеристики, а наоборот, увеличивает твердость и износостойкость стали, уменьшает степень роста зерна в этих сталях.

Охлаждение при закалке проводится с максимально высокими скоростями, предотвращающими диффузионный распад переохлажденного аустенита на феррито-цементитную смесь, т.е. скорость охлаждения должна превышать критическую скорость закалки.

Скорость охлаждения при закалке, однако, не должна быть слишком большой, поскольку ее чрезмерное увеличение приводит к росту закалочных внутренних напряжений, что может вызвать коробление изделий или образование трещин.

Наиболее широко распространенной классической охлаждающей средой, используемой для закалки, является вода. Это объясняется ее широкой распространенностью, доступностью, относительной дешевизной и рядом замечательных теплофизических свойств, позволяющих осуществлять

охлаждение со скоростями, превышающими критические скорости закалки многих сталей.

Однако во многих случаях закалочное охлаждение может быть проведено с меньшими скоростями, обеспечивающими получение меньшего уровня закалочных напряжений и исключение деформации изделия.

В том случае, если количество остаточного аустенита в результате закалки оказывается слишком большим (это наблюдается в случае закалки высоколегированных сталей или даже углеродистых, но при использовании слишком высоких температур нагрева под закалку), то после закалки производят обработку при температурах ниже 0 °С. Такое сочетание операций называют закалкой с обработкой холодом.

Теоретической основой закалки с обработкой холодом является то, что остаточный аустенит, сохраняющийся в стали после закалочного охлаждения до комнатной температуры, является термодинамически неустойчивым, и способным к мартенситному превращению при дальнейшем понижении температуры ниже 0°С. Поэтому, применение обработки холодом с целью уменьшения количества остаточного аустенита возможно для сталей, у которых точка конца мартенситного превращения ( $M_c$ ) ниже комнатной температуры[5].

Технология обработки холодом предусматривает охлаждение изделия непосредственно после закалки до температур от минус 60 до минус 70 °С в специальных охладительных камерах. Более низкие температуры не приводят к дальнейшему уменьшению количества остаточного аустенита. В некоторых случаях более просто технологически проводить обработку холодом непосредственно в жидком хладагенте, в качестве которого может быть использован жидкий азот, либо смеси его с углеводородами типа спирта, ацетона и др. Температура кипения жидкого азота составляет минус 196 °С, а в смеси с углеводородами могут быть получены промежуточные температуры от минус 196 до плюс 20°С.

Также существуют такие способы закалки как: закалка с подстуживанием, прерывистая закалка, закалка с самоотпуском, ступенчатая закалка, изотермическая закалка, способы поверхностной закалки и т.д.

### 3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ.

Заготовка – предмет производства, из которого различными методами путем изменения формы, размеров, физических и механических свойств материала, качества поверхности получают деталь.

Основные способы изготовления заготовок приведены на рисунке 6.

Правильно выбрать способ получения заготовки – означает определить рациональный технологический процесс её получения с учётом материала детали, требований к точности её изготовления, технических условий, эксплуатационных характеристик и серийности выпуска.

В металлургии существует большое количество способов получения деталей.

Максимальное приближение геометрических форм и размеров заготовки к размерам и форме готовой детали – главная задача заготовительного производства.

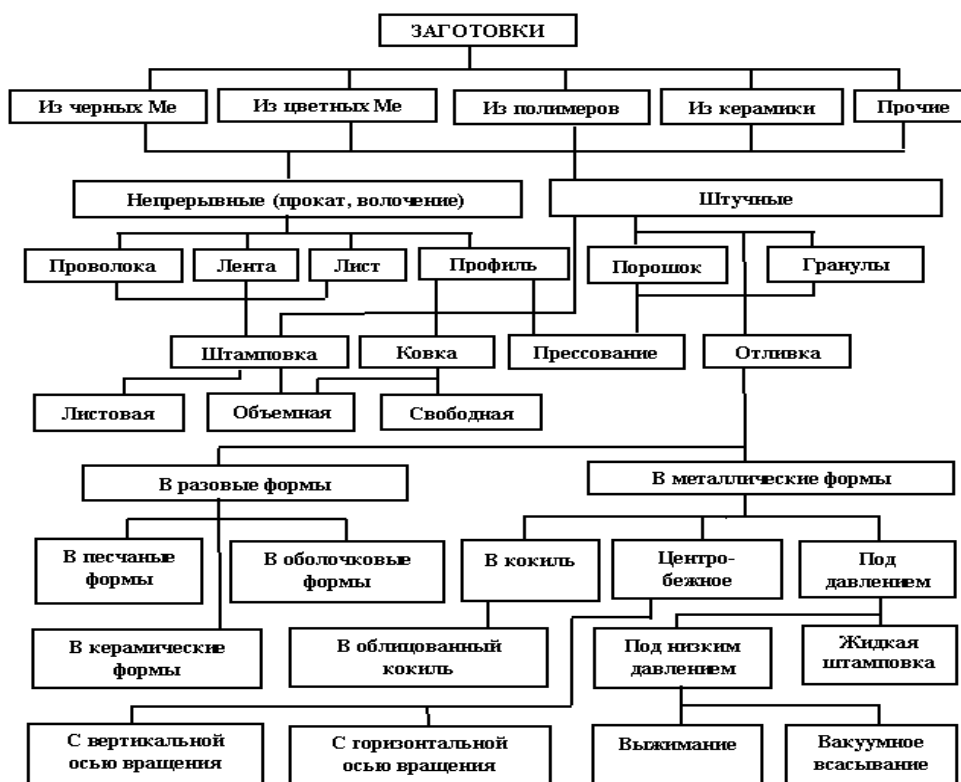


Рисунок 6. Классификация заготовок.

Заданные конструктором форма, размеры и марка материала детали во многом определяют технологию изготовления.

Таким образом, выбор вида заготовки происходит в процессе конструирования, так как при расчёте деталей на прочность, износостойкость или при учете других показателей эксплуатационных характеристик конструктор исходит из физико-механических свойств материала детали.

На себестоимость изготовления детали влияют конструктивные, производственные и технологические факторы.

То, насколько полно в заготовке учтено влияние факторов первой и второй групп, позволяет судить о технологичности заготовки.

Под технологичностью заготовки принято понимать, насколько данная заготовка соответствует требованиям производства и обеспечивает долговечность и надежность работы детали при эксплуатации.

Выпуск технологичной заготовки в заданных масштабах производства обеспечивает минимальные производственные затраты, себестоимость, трудоемкость и материалоемкость.

Оптимальное решение при выборе заготовок может быть найдено только при условии комплексного анализа влияния на себестоимость всех факторов, в том числе и способа получения заготовки.

В себестоимости изготовления детали значительную долю составляют затраты на материал.

Материалы для изготовления заготовок должны обладать необходимым запасом определенных технологических свойств – ковкостью, штампуемостью, жидкотекучестью, свариваемостью, обрабатываемостью.

Для деформируемых материалов необходимым технологическим свойством является технологическая пластичность. Особо жесткие требования по технологической пластичности предъявляются к сплавам, из которых детали получают холодной обработкой давлением – выдавливанием, вытяжкой, гибкой, формовкой.

Если металл обладает низкой жидкотекучестью, высокой склонностью к усадке, то не рекомендуется применять литье в кокиль и литье под давлением, так как из-за низкой податливости металлической формы могут возникнуть литейные напряжения, коробление отливки, трещины. Для этих случаев целесообразно применять оболочковое литье и литье в песчано-глинистые формы.

Использование точных способов обеспечивает достаточную чистоту поверхности и высокую точность заготовок. Совершенствованиековки и штамповки обеспечивают параметры шероховатости и точность размеров, соответствующих механической обработке и даже финишных операций[3].

Калибровка, холодное выдавливание обеспечивают получение готовых деталей (заклепки, гайки, болты).

#### 4. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

На рисунке 7 представлена общая схема производства труб диаметром от 508 до 1420 мм в ТЭСЦ «Высота 239».

Задача листа осуществляется на участке ввода листа на линию. После этого листы подвергаются автоматизированному контролю геометрии. При соответствии геометрических параметров, листовой прокат, прошедший контроль, направляют для прохождения дальнейших технологических операций.

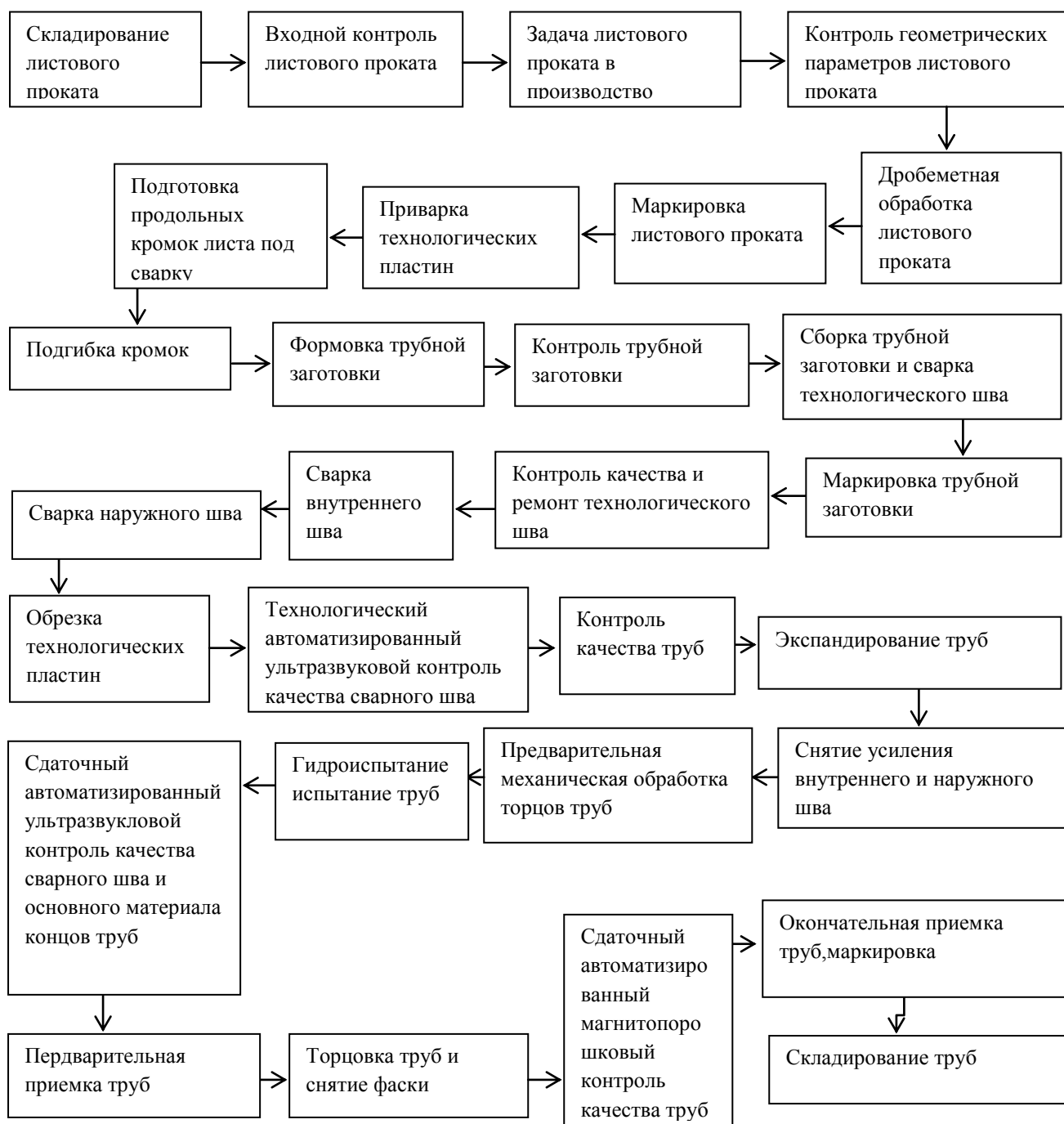


Рисунок 7. Технологическая схема производства труб большого диаметра в ТЭСЦ «Высота 239»

Следующая операция предназначена для очистки поверхности листа. После очистки на лист наносят автоматическим способом маркировку и в дальнейшем направляют на станцию по приварке технологических пластин.

Приварку пластин выполняет электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах автоматической сваркой в смеси углекислого газа и аргона. После приварки технологических планок лист направляют на кромкофрезерную установку. На кромкофрезерной установке осуществляется подготовка продольных кромок листа под сварку. В качестве металлорежущего инструмента применяются специальные дисковые фрезы. Параметры фаски приведены на рисунке 8.

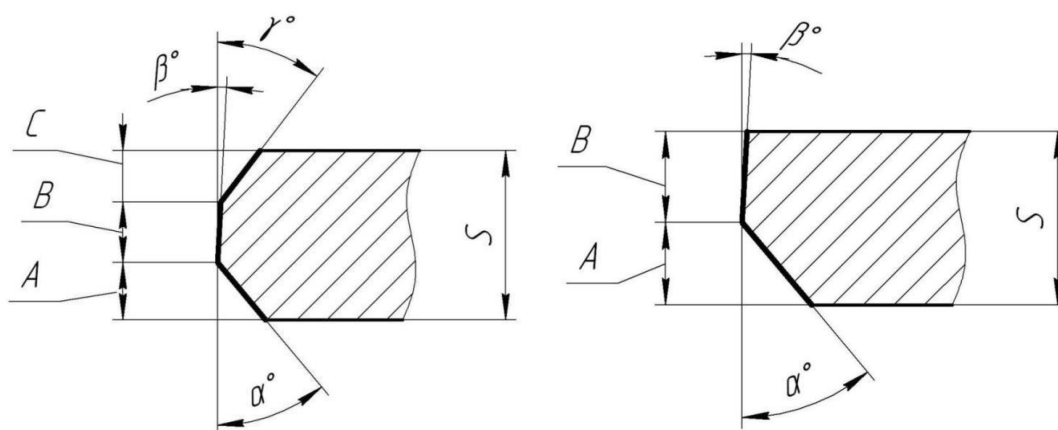


Рисунок 8. Профиль фаски на продольной стороне листа (слева для толщин стенок листа , справа для толщин стенок листа ) мм14□S мм14□S

где –геометрические параметры фаски. □ □ □,, ,, , СВА

Фрезерованные листы поступают на кромкогибочный пресс. Общий вид пресса представлен на рисунке 9. Процесс подгибки кромок листа является неотъемлемой частью технологического процесса пошаговой формовки при производстве электросварных прямошовных труб большого диаметра[7]. Он обеспечивает требуемую геометрию боковых кромок трубной заготовки по всей



длине. Процесс выполняется методом формовки листа на специальном оборудовании – кромкогибочном прессе с использованием специального инструмента. Пресс развивает достаточное усилие, необходимое для пластического деформирования металла листа и сохранения в дальнейшем формы кромки листа, заданной инструментом.



Рисунок 9. Общий вид пресса подгибки кромок.

На рисунке 10 представлены этапы процесса подгибки кромки на кромкогибочном прессе.

Технология гибки листа заключается в следующем: после позиционирования листа для проведения отгибания система управления запускает рабочий цикл пресса (рисунок 10 -а). При этом на левом и правом гибочном блоке одновременно происходит подъём рабочими гидроцилиндрами зажимных и гибочных балок, синхронно с ними подъемные ролики поднимают лист. Подъем листа продолжается до тех пор, пока зажимная балка не подведет его к верхней прижимной неподвижной балке (рисунок 10-б). Далее, зажимные цилиндры создают необходимое для зажатия усилие, и гидросистема пресса поддерживает это усилие до окончания гибки. После достижения необходимого давления при зажатии листа рабочие цилиндры продолжают перемещать гибочные балки дальше, при этом происходит процесс отгибания листа нижним инструментом по контуру верхнего инструмента. Формовка продолжается до тех пор, пока усилие гибки не достигает установленного значения (рисунок 10-в). Гидросистема

выдерживает давление на протяжении определенного времени и затем разгружает гибочные балки, опуская их в исходное положение. После этого гидросистема производит разгрузку зажимных балок, опуская их в исходное положение рисунок 10-г. Подъемные ролики синхронно с балками опускают лист на уровень подводящего и отводящего рольгангов. После этого лист перемещается на следующий шаг отгибания.

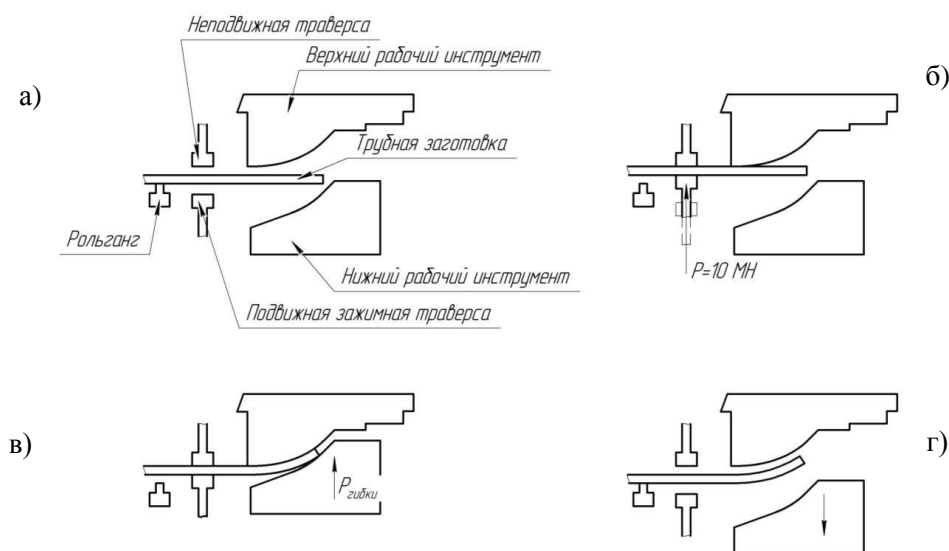


Рисунок 10. Этапы процесса подгибки кромки на кромкогибочном прессе: а) лист перемещается по рольгангу в зону гибки на прессе; б) фиксируется неподвижно с помощью зажимной траверсы; в) с помощью верхнего и нижнего инструмента кромка листа формуется; г) кромка принимает требуемую форму по геометрическим параметрам, процесс закончен.

В таблице 1 представлены технические характеристики кромкогибочного пресса.

Таблица 1 – Технические характеристики кромкогибочного пресса

Параметр	Величина
Усилие пресса (на один блок)	40 МН
Зажимное усилие	10 МН
Рабочее давление	max 315 бар
Ход гибочной балки	max 300 мм

Ход зажимной балки	max 160 мм
Длина отгиба	4.500 мм
Перемещение правого пресса	2.560 мм
Перемещение левого пресса	2.560 мм
Скорость гибки	4.5 мм/с (при максимальном усилии пресса) 11 мм/с (при минимальном усилии пресса)

Формовку листовой заготовки для получения заданного профиля заготовки трубы производят на прессе шаговой формовки рисунок 11. Изгиб исходной заготовки выполняют по всей длине плоской части листа последовательными шагами от подогнутых кромок к середине сначала с одной, затем с другой стороны листа.

При этом формируется полуцилиндр на одной стороне листа, затем формируется полуцилиндр на противоположной стороне листа. Специальные манипуляторы перемещают лист на всех шагах формовки. Сформованная трубная заготовка по отводящему рольгангу передается на сборочно-сварочный стан.

Настройку пресса шаговой формовки выполняет оператор в зависимости от типоразмера трубы и механических характеристик исходной заготовки. В процессе настройки оборудования пресса шаговой формовки учитывают основные технические параметры:

- расстояние между опорами нижнего инструмента;
- величины хода пуансона;
- типоразмер пуансона;
- величины шагов подачи листа;
- количество шагов;
- положение нулевой линии в вершине опор нижнего инструмента и др.

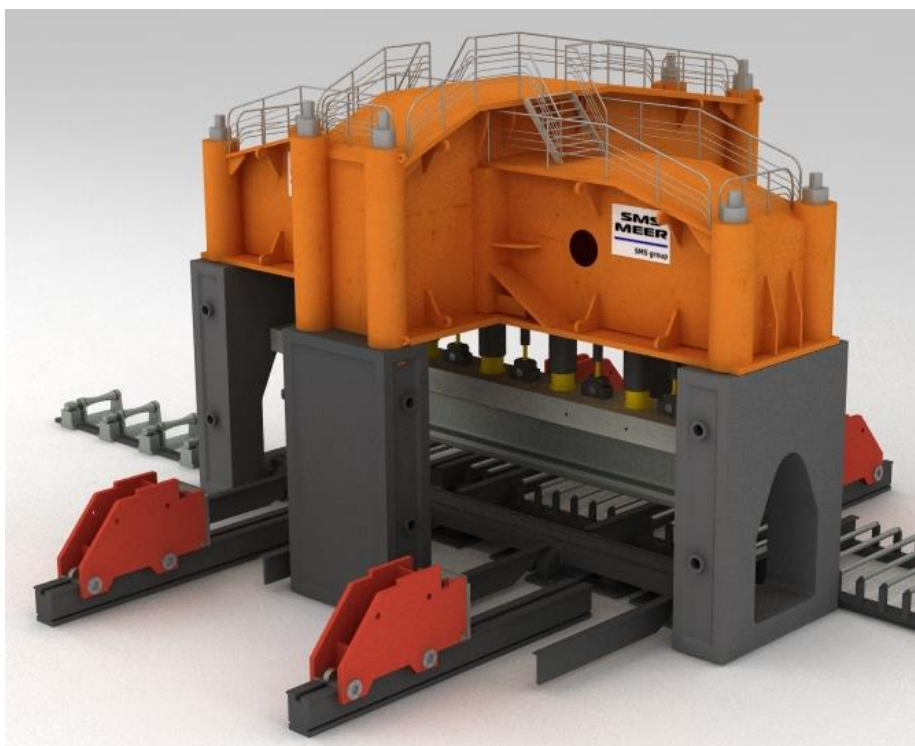


Рисунок 11. Общий вид пресса шаговой формовки труб

Расстояние между бойками регулируют промежуточными пластинами. Верхний инструмент подбирают на заданный диапазон типоразмеров труб. Широкий диапазон изменения различных параметров очага деформации позволяет с помощью однорадиусного инструмента получать диапазон типоразмеров труб.

Технические характеристики пресса шаговой формовки представлены в таблице 2.

Полученные трубные заготовки выборочно контролируют на участке выборочного контроля труб, находящемся по технологической цепочке после пресса шаговой формовки труб. Затем трубную заготовку направляют на сборочно-сварочный стан.

Таблица 2 – Техническая характеристика пресса шаговой формовки

Параметр		Величина
Погонное усилие формовки при рабочей длине 19,0 м	max	5,2 МН/м
	max	100,0 МН
	max	65,0 МН

при рабочей длине 12,5 м		
Рабочее давление	max	315 бар
Давление цилиндра прессования	max	280 бар
Ход гибочной балки		360 мм
Диаметр трубы	min	508,0 мм
	max	1 422,0 мм

Целью сборочно-сварочного стана является сборка кромок и сварка технологического шва под заданный профиль готовой трубы. Задачами в сборочно-сварочном стане являются обеспечение заданной геометрии трубной заготовки в калибре под требуемый угол схождения кромок, устранение зазора между кромками с последующей технологической сваркой [91, 92].

Автоматическую сварку технологического шва выполняют электросварщики труб на стане в смеси углекислого газа и аргона.

Калибр сборочно-сварочного стана включает 9 балок с установленными на них роликами: две из которых располагаются внизу трубной заготовки и фиксируются неподвижно; четыре балки в средней части профиля трубной заготовки имеют возможность радиального перемещения; две балки расположенные в верхней части трубной заготовки имеют возможность радиального перемещения и угла поворота, обеспечивают устранение зазора по длине трубы и требуемую овализацию заготовки под угол схождения кромок; верхняя балка направляет и доформовывает кромки, обеспечивает заданное положение кромок по высоте.

Собранную и сваренную заготовку осматривают, при необходимости ремонтируют технологический шов и направляют на участок сварки внутреннего шва. Сварку внутреннего шва выполняют электросварщики труб на стане автоматической сваркой под слоем флюса. Количество дуг в зависимости от толщины стенки может достигать четырех. Затем трубная заготовка перемещается на участок сварки наружного шва. Между участками происходит очистка трубы

изнутри от шлаковой корки. Сварку наружного шва выполняют электросварщики труб на стане автоматической сваркой под слоем флюса. Количество дуг в зависимости от толщины стенки может достигать пяти.

После наружной очистки труб от шлаковой корки у сваренных труб отрезают технологические пластины. Затем каждая труба подвергается технологическому автоматизированному ультразвуковому контролю. Все трубы после сварки, неразрушающего контроля и очистки наружного и внутреннего шва подаются на площадку технологического контроля, где производится визуально-измерительный контроль качества труб и ручной ультразвуковой контроль участков сварного соединения и основного металла.

Для калибровки геометрических параметров трубы и обеспечения требований к величине наружного диаметра, овальности и кривизне производят экспандирование труб на механическом экспандере[2]. Экспандирование производится в несколько шагов, с перекрытием предыдущего шага. Откалиброванные трубы направляются на установку по снятию усиления внутреннего и наружного сварных швов концов труб. Затем торцы труб подвергают предварительной механической обработке, для последующей операции – гидростатического испытания труб.

После испытания на герметичность трубы подают на установку автоматического ультразвукового контроля сварного соединения. После этого готовые трубы подают транспортными рольгангами к трубообрезным станкам, на которых снимают фаски с торцов. Затем трубы подвергают рентгенотелевизионному контролю концов и магнитопорошковому контролю, после чего трубы маркируют и передают на склад готовой продукции.

## 5. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Для производства труб большого диаметра 1020-1520 мм из листовой заготовки (штрипса) выбираем оборудование технологической линии.

В состав технологической линии входит следующее оборудование:

- зона внешней приемки листовой заготовки, где магнитными кранами лист выгружают из вагонов и складировать в штабеля по маркам стали, классам прочности, длине, ширине, толщине стенки и заводам поставщикам. По сертификатным данным проверяют соответствие листового штрипса требованиям нормативной документации. При разгрузке листового проката производится контроль качества поверхности, геометрических размеров и маркировки;

- девяти валковая правильная машина, где происходит правка листа;

- щеточная машина, где осуществляется очистка листа от загрязнений и посторонних предметов;

- кромкострогальный станок МС - 707 МУ, где происходит строжка кромок листа по длине и снятие фасок на кромках, который состоит из центрирующего устройства и 18 клеток с тянущими валками. Продольная ось листа центруется осью станка с помощью центрирующих роликов;

- стан для загибки кромок листа, который состоит из задающей и трех гибочных клеток;

- устройство формовки труб на базе прессы предварительной формовки ;

- рольганг с цепным транспортером;

- пресс окончательной формовки;

Трубоформовочные прессы.

Пресс предварительной формовки П-960, развивающий усилие 1800 или 2000 тс (рисунок 12), состоит из двух одинаковых гидравлических четырехколонных прессов. Прессы соединены друг с другом балкой и имеют общую подвижную траверсу 1. На траверсе закреплены сменные штампы (пуансоны) 2; профиль штампа соответствует диаметру формируемой заготовки. На нижней балке с обеих сторон расположено по шесть секций

роликов гибки 3. Боковые ролики 5 регулируют таким образом, чтобы отклонение оси листа от оси пресса не превышало 5 мм.

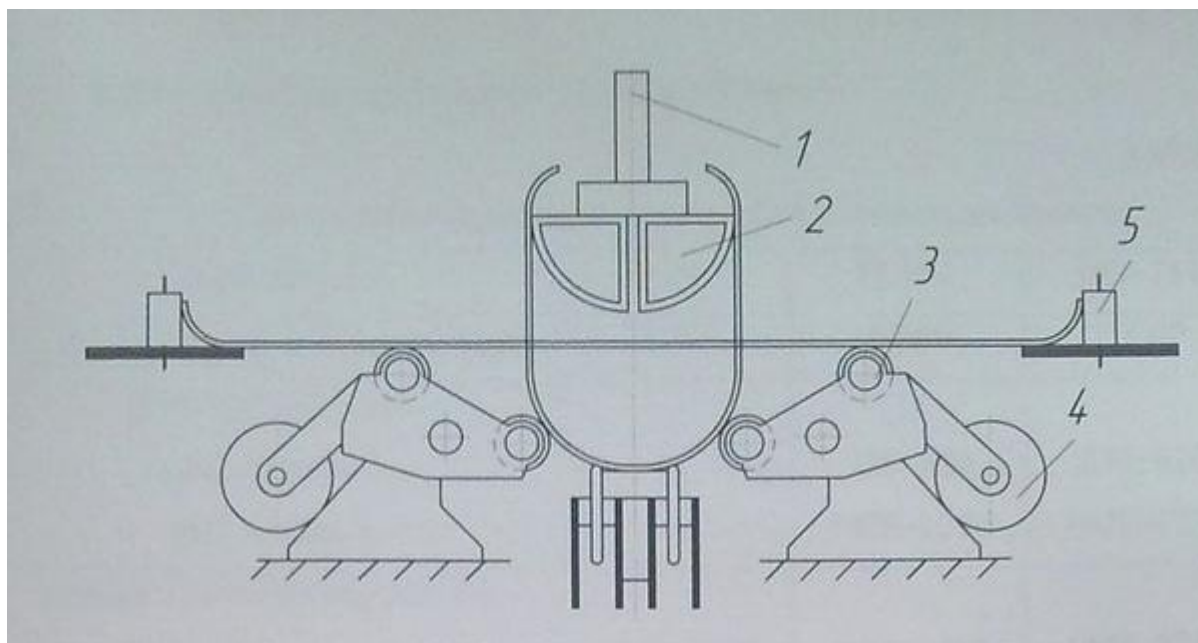


Рисунок 12. Эскиз пресса предварительной формовки.

В зависимости от размеров заготовки ролики можно сближать и раздвигать в поперечном направлении. В каждой секции роликов имеется груз 4, который возвращает ролики в исходное положение при подъеме штампа и заготовки. Подъем заготовки вверх после формовки осуществляется четырьмя пневматическими подъемниками с роликами, по которым следующая заготовка выталкивает согнутую на подъемный рольганг перед прессом окончательной формовки. При настройке пресса оси кулисных механизмов, снабженных двумя рядами гибочных роликов, должны находиться на одинаковом расстоянии от оси пресса. В зависимости от диаметра формируемых труб расстояние между осями кулис в исходном положении пресса задается согласно технической инструкции. При настройке пресса оси кулисных механизмов, снабженных двумя рядами гибочных роликов, должны находиться на одинаковом расстоянии от оси пресса[6].

При настройке пресса оси кулисных механизмов, снабженных двумя рядами гибочных роликов, должны находиться на одинаковом расстоянии от оси пресса. В зависимости от диаметра формируемых труб расстояние между осями кулис в исходном положении пресса задается согласно технической инструкции.



Смещение отдельных секций штампов друг относительно друга не должно превышать 1,5 мм (проверяется с помощью линейки или щупа). Ролики гибки при поднятой траверсе должны находиться на одном уровне с отклонением не более 2 мм.

Гибка листа на прессе предварительной формовки осуществляется за один ход пресса.

Формовка U-образной заготовки в цилиндрическую осуществляется в закрытом калибре пресса при опускании верхней половины штампа.

Окончательная формовка заготовки происходит за один ход пресса. Подъем подвижной траверсы после рабочего хода осуществляется с помощью возвратных цилиндров. Сформированная заготовка приподнимается в штампе специальными роликами и выталкивается из пресса следующей заготовкой.

Формовка цилиндрической трубной заготовки проводится при помощи сменных вкладышей, а полуцилиндров - при помощи сменных нижних вкладышей и верхнего штампа с обжатием в пределах 0,2-0,4%.

Все штампы и вкладыши должны быть установлены в одной горизонтальной плоскости. Смещение рабочих поверхностей вкладышей относительно осевой линии не должно превышать 1 мм.

При качественной формовке заготовки допустимое превышение кромок в свободном состоянии заготовок не более 10 мм; местное искривление кромок заготовок - не более 3 мм; уступы на продольных кромках заготовок - не более 0,5 мм. При формовке полуцилиндров качество формовки кромок заготовки проверяют специальным шаблоном.

Особенно важно, чтобы периметр по длине заготовки был постоянным. В непрерывных трубосварочных станах заготовка проходит сквозь роликовую обойму, обеспечивающую плотное сведение кромок и удерживающую их в процессе сварки. При различии периметров по длине заготовки плотность стыковки кромок не обеспечивается.

## 6. ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА.

Для того чтобы автоматизировать технологический процесс, нужно рассмотреть основные технологические операции: проверка параметров листового штрипса, правка листа, строжка кромок листа по длине и снятие фаски на кромках, подгибка кромок листа, предварительная формовка, окончательная формовка, маркировка, сортировка заготовок, сварка, охлаждение швов, неразрушающий контроль качества, отрезка концов труб, снятия усиления, экспандирование и гидроиспытание, отгрузка на склад или на участок по нанесению антикоррозионного покрытия труб.

Для описанной выше технологической линии необходимо разработать систему управления устройства формовки труб. Это необходимо сделать для того, чтобы оператор устройства формовки только следил за процессом и при необходимости вмешивался.

Любая автоматизированная технология, в процессе разработки и внедрения проходит несколько стадий жизненного цикла: формирование требований к автоматической системе, разработка концепции автоматической системы, техническое задание, эскизный проект, технический проект, рабочая документация, ввод в действие и сопровождение автоматической системы. Каждая стадия подразделяется на определенные этапы работ, основное содержание которых изложено в стандартизированных документах[4].

Структура АСУ ТП стана ТЭСА 1020-1220 мм показана на рисунке 13, где ЦУВМ (центральная управляющая вычислительная машина) может быть АРМ (автоматическое рабочее место), а ЗУВМ (зональная управляющая вычислительная машина) это ПЛК (программируемый логический контроллер). УСО - устройство связи с объектом.

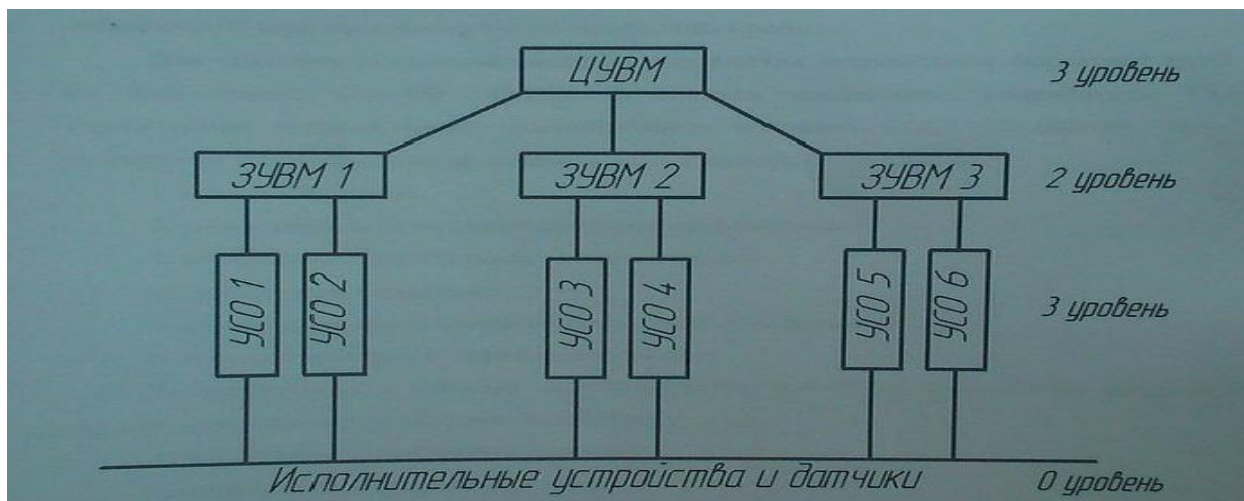


Рисунок 13. Структура АСУ ТП стана ТЭСА 1020-1220

Для автоматизации трубоэлектросварочных агрегатов по производству труб большого диаметра целесообразно создание трехуровневой АСУ ТП, состоящей с центральной УВМ и локальных систем управления.

Согласно заданию необходимо разработать стадии технического задания . Здесь осуществляется основная подготовительная работа по оформлению ТЗ, которое в процессе всего проекта будет основным документом при решении технических, юридических и пуско-наладочных работ.

Для создания локальной системы управления устройством формовки труб на базе прессы 110-753 (ЗУВМ 1) сначала необходимо разработать ТЗ. Техническое задание будем разрабатывать согласно ГОСТ 34.602-89. При разработке ТЗ необходимо выполнить девять основных разделов:

1. общие сведения;
2. назначение и цели создания (развития) системы;
3. характеристика объектов автоматизации;
4. требования к системе;
5. состав и содержание работ по созданию системы;
6. порядок контроля и приемки системы;
7. требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие;
8. требования к документированию;
9. источники разработки.

## 7. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА.

Основной заказчик труб на Российском рынке является Газпром.

В первом полугодии 2015 года можно отметить значительный рост объемов потребления практически во всех сегментах трубного рынка, в том числе в ТЭК — на 26%, в строительстве — на 16%, машиностроении и энергетике — суммарно на 23%. По нашей оценке, емкость российского рынка может достигнуть в 2015 году 8,5 млн тонн. Среди трубников по темпам роста лидирует ВМЗ — за счет освоения новой линии ТБД диаметром 1420 проектной мощностью 570 тыс. тонн. Идут поставки ТБД для сухопутной части Северо-Европейского газопровода, а также для нефтепровода Восточная Сибирь — Тихий океан (ВСТО): за первую половину текущего года на него поставлено 270 тыс. тонн ТБД.

Газпром подвел итоги тендера на покупку труб большого диаметра на общую сумму 56,774 млрд. руб.

Об этом Газпром сообщил 7 июня 2015 г.

Тендер проводился по 13 лотам, победителями были признаны 5 трубных компаний - Ижорский трубный завод Северстали, Выксунский металлургический завод Объединенной металлургической компании (ОМК), Трубные инновационные технологии, Трубная металлургическая компания (ТМК), Челябинский трубопрокатный завод (ЧТПЗ).

По итогам закупок лоты на 17,2 млрд руб (30,3% объема закупки) получил Выксунский металлургический завод, на 11,676 млрд руб - ЧТПЗ, на 16,496 млрд руб - ТИТ, на 5,645 млрд руб - Ижорский трубный завод и на 5,744 млрд руб - ТМК.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных в работе исследований разработаны теоретические положения и технологические предложения, совокупность которых можно квалифицировать как достижения в развитии новых технических решений и сделали следующие выводы:

1) С внедрением технологий увеличили производства проката, обеспечивающие снижение потерь металла при изготовлении труб широкого сортамента.

2)Повысили эффективность прокатного производства и качество готового проката.

3) С увеличением объемом производства и качеством продукции с использование предложенных режимов прокатки позволит увеличить себестоимость единицы продукции

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данченко В.Н., Технология трубного производства: Учебник для ВУЗов / – М.:Интернет Инжиниринг, 2002. – 640 с.
2. Дрян, В.М. Теория и технология трубного производства: Учебник. – Днепропетровск: РИА «Днепр-ВАЛ», 2001. – 544 с.
3. Калинушкин, П.Н. Сварные многослойные трубы для магистральных газопроводов высокого давления / П.Н. Калинушкин, З.О. Княжинский, В.К. Коломенский // Производство труб. – 1980. – № 6. – С. 64 – 69.
4. Матвеев, Ю.М. Производство электросварных труб большого диаметра / Ю.М. Матвеев, В.Я. Иванцов, Н.А. Грум-Гржимайло – М.: Металлургия, 1968. – 192 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.: «Интернет Инжиниринг», 2001. – 608 с.
6. Ситников, В.А. Рымов, К.Ф. Миленный, М.Ю. Матвеев // Пластическая деформация металлов и сплавов. – 1975. – №80. – С. 249 – 254.
7. Харитонов В.В., Соломеин В.А. Энциклопедия «Производство труб» (электронный вариант). – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 1997-2009
8. Шевакин, Ю.Ф. Производство труб / Ю.Ф. Шевакин, А.З. Глейберг – М.: «Металлургия», 1968. – 440 с.
9. Шинкин, В.Н. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра / В.Н. Шинкин, А.П. Коликов // Сталь. – 2011. – № 1. – С. 54 – 58.