

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка металлов давлением и родственные процессы»  
(наименование)

**15.03.01 Машиностроение**

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Технология сборки и сварки профильной трубы токами высокой частоты»

Студент

А. В. Бурдачев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

К.т.н., доцент

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Г.М. Короткова

Консультанты

К.т.н., по экономике Н.В. Зубкова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

К.т.н., по технике безопасности А.Н. Москалюк

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## АННОТАЦИЯ

Тема данной дипломной работы - технология сборки и сварки профильной трубы с помощью токов высокой частоты. Целью дипломной работы является разработка наиболее эффективного технологического процесса производства профильных труб.

В первой главе рассматриваются типы профильных труб и материалов, из которых они изготовлены. Затем происходит анализ методы изготовления профильных труб. В целом, результаты показывают, что наиболее эффективным методом производства является сварка высокочастотным током.

В третьей главе проекта подробно рассказывается о процессе производства труб. Выпускаемая труба имеет прямоугольное сечение и размеры 40 \* 20 \* 2 мм. Материал, из которого она изготовлена, - сталь 08ПС (американский аналог А620). Сырьем для производства является стальная лента шириной 123 мм и толщиной 2 мм. Скорость производства профильной трубы составляет 50 метров в минуту. Этот вид продукции обладает высоким уровнем экологической безопасности. При сварке ТВЧ выделяется минимальное количество вредных веществ.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что стоимость оборудования для производства профильных труб составляет 130 000 000 рублей. Чистая прибыль предприятия за сутки равна 706 260 рублей. Отсюда следует, что при полной реализации готовой продукции предприятие окупится за 184 дня.

## ABSTRACT

The topic of the given graduation work is Technology of assembly and welding of a profile pipe by high-frequency currents. The aim of graduation work is to develop the most efficient technological process for the production of profile pipes.

We first discuss types of profile pipes and materials they are made of. We then analyze methods for manufacturing profile pipes. Overall, the results suggest that the most efficient production method is high frequency current welding.

The special part of the project gives details about pipe manufacturing process. The produced pipe has a rectangular section and dimensions 40 \* 20 \* 2 mm. The material from which it is made is 08PS steel (American analog A620). The raw material for the production is steel tape 123 mm wide and 2 mm thick. The production speed of the profile pipe is 50 meters per minute. This type of production has a high level of environmental safety. When welding with high frequency currents, a minimum amount of harmful substances is released.

In conclusion, we would like to stress the cost of equipment for the production of profile pipes is \$ 1,868,555. The net profit of the enterprise per day is equal to 10 147 dollars. It follows that with the full sale of finished products, the plant will pay off in 184 days.

profile pipe	Профильная труба
high frequency welding	Сварка током високой частоты (ТВЧ)

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ.....	5
1.1 Виды профильных труб по геометрическим характеристикам.....	5
1.2 Описание конструкций из профильных труб и условий их эксплуатации..	8
1.3 Свойства материалов профильных труб.....	10
1.4 Способы изготовления труб... ..	11
2 КОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛИЦЫ ИЗ ПРОФИЛЬНОЙ ТРУБЫ.....	14
2.1 Описание конструкции теплицы и выбор профиля трубы.....	14
2.2 Обоснование выбора изготовления прямоугольного профиля трубы.....	14
2.3 Выбор геометрических параметров профиля трубы.....	15
3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПРОФИЛЬНОЙ ТРУБЫ ИЗ ШТРИПСА.....	17
3.1 Особенности сварки ТВЧ.....	17
3.2 Выбор параметров режима сварки токами высокой частоты (ТВЧ)... ..	22
3.3 Технологический процесс изготовления профильной трубы размерами 20*40*2мм .....	23
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ.	30
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	34

## ВВЕДЕНИЕ

В современном технологичном мире весьма высока потребность в конструкционных материалах, изготовленных с соблюдением всех норм и ГОСТов. К качеству таких материалов предъявляются высокие требования.

При строительстве всегда использовался различный материал: ранее всего – древесные конструкции, но они не долговечны, затем тяжелые металлические конструкции, но они трудозатраты и дорогостоящи.

В наше время как альтернативное предложение широко используются профильные трубы.

Количество изделий профильного трубопроката занимает значительный сектор в конструкционных материалах. Профильные трубы используются во многих отраслях промышленности. Они выгодно заменяют тяжёлый конструкционный материал – металлический брус. Все показатели жесткости и прочности, благодаря тому, что основная нагрузка при изгибе распределяется по его крайним участкам, не вызывает сомнений в надежности материала [1]. Благодаря своей легкости и минимальной нагрузке на персонал профильная труба позволяет конструировать сложные инженерные конструкции.

Геометрические характеристики профильных труб различны: круглые, овальные, прямоугольные, квадратные. Разновидность форм обосновывается спросом покупателей.

По способу производства профильные трубы подразделяются на бесшовные и сварные [2]. В настоящее время первый вид предполагает более высокие затраты по сравнению со сварными аналогами. Сварные трубы дешевле в изготовлении и не уступают в прочностных характеристиках. Технологические операции для производства профильных труб это – прессование круглой заготовки, изготавливаемой на прокатном станке или сваривание ленточного профиля.

Сфера применения профильных труб многогранна и интересна. Они используются в дизайнерском искусстве, агротехнических конструкциях, пищевой и химической промышленности. Конечно, самое большое применение данный материал нашел в строительстве и машиностроении.

В данной работе рассматривается конструкция теплицы из сварной профильной трубы прямоугольного сечения, изготовление которой должно быть эффективно.

Целью работы является повышение производительности изготовления сварной профильной трубы прямоугольного сечения.

# 1 Анализ конструкций из профильных труб

## 1.1 Виды профильных труб по геометрическим характеристикам

В производстве различают следующие виды профильных труб по форме сечения (рис. 1.1):

- квадратный профиль,
- прямоугольный профиль,
- овальный профиль

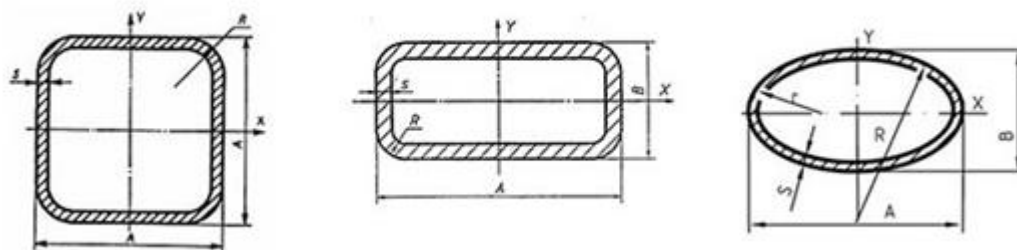


Рисунок 1.1 - Виды профильных труб

Овальная профильная труба может иметь сечение прямоугольника с округлением, овала с выпрямленными длинными сторонами или строгого овала. По сравнению с другими видами, овальный профиль отличается сложностью производства, при расчете параметров, и требует высоких квалификационных навыков [3]. Как следствие – большая стоимость изготовления и производство в меньших объемах.

Для овальных труб сортament определяется ГОСТ 8642-68 [4], длина труб и предельные отклонения по форме и размерам должны соответствовать ГОСТ 8639-82 [5], технические требования должны соответствовать ГОСТ 13663-86 [6].

По соотношению толщины стенки к диагонали сечения профили можно разделить на толстостенные и тонкостенные. Если данное соотношение составляет  $1/20$ , то овальная труба считается тонкостенной, а если толщина стенки не менее  $0,1$  от диагонали, то это толстостенная труба.

Область применения этого вида труб очень велика из-за функциональности и внешнего вида. Овальные профильные трубы применяются в декоративном и дизайнерском направлении, мебельной промышленности, при изготовлении техники для создания тонких механизмов, в системах водоотведения и создания строительных конструкций. Пример конструкции из овального профиля приведен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 - Конструкция из овального профиля

В различных отраслях промышленности необходимы не только овальные профили, но и прямоугольные. Такие изделия выдерживают нагрузки больше чем овальные, что характеризует их как более безопасные и долговечные в применении. Конструкции из прямоугольного профиля зарекомендовали себя с технической стороны в плане эффективности и качества соединений, легкости при монтаже. Немаловажная составляющая – удобство крепления их к другим плоским поверхностям.

Не совпадение соотносящихся сторон характеризует трубу как прямоугольную. Удобством труб данного вида является возможность выбора противоположной ширины граней, что очень важно для внедрения инженерных требований при решении определенных задач. Увеличивается количество возможных вариантов при конструировании сооружений.



Для прямоугольных профильных труб сортament определяется ГОСТ 8645-68 [2], длина труб и предельные отклонения по размерам должны соответствовать ГОСТ 8639 [5], а технические требования - ГОСТ 13663 [6].

Благодаря своим техническим характеристикам прямоугольный профиль нашел широкое применение в строительстве промышленных, жилых и офисных помещений, машиностроении, химической, пищевой промышленности, в сфере изготовления рекламных и монтажных конструкций. В сельском хозяйстве используется для изготовления каркаса теплиц (рис.1.3).

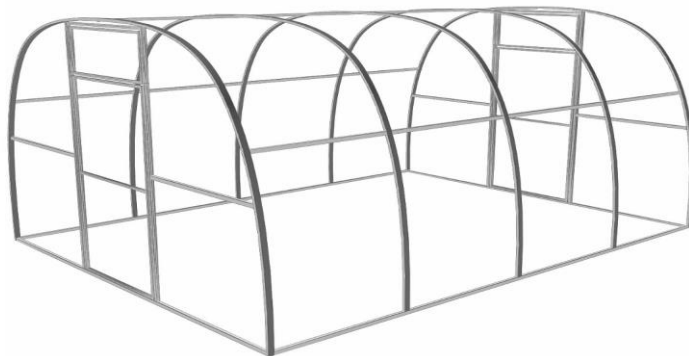


Рисунок 1.3 - Конструкция из прямоугольного профиля

Труба, имеющая равносторонний прямоугольный профиль и являющаяся пустотелым стержнем, представляет собой квадратный профиль.

Сортамент данного профиля регламентирует ГОСТ 8639-82 [5], технические требования должны также соответствовать ГОСТ 13663 [6].

Для профиля с квадратным сечением в профильном металлопрокате различают следующие виды:

- мерный - все трубы в упаковке одинаковой длины,
- немерный - трубы разной длины,

- длины, кратной мерной - за основу берется мерный показатель с добавлением 5 мм припуска на каждый рез.

Как и при изготовлении других профилей пустотелость данного изделия способствует большой экономии материала, из которого они состоят, а также снижение веса, что облегчает транспортировку, монтаж и хранение.

Область применения квадратного профиля во многом схожа с прямоугольным - машиностроение, технические, строительные конструкции (рис.1.4) и многое другое. Так же не используется при транспортировке газообразных и жидких веществ.

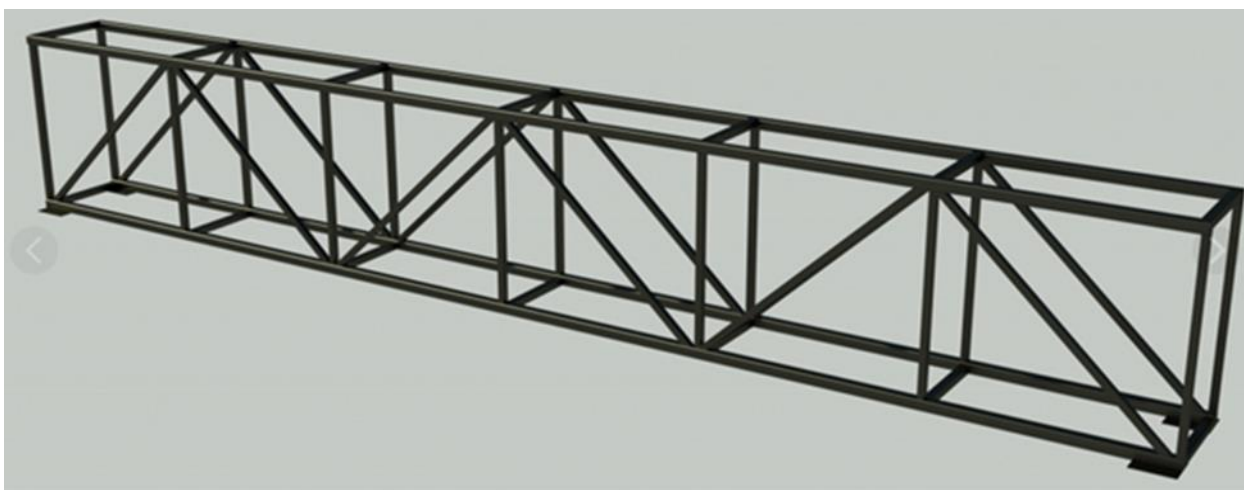


Рисунок 1.4 - Конструкция из квадратного профиля

Одним из достоинств трубы квадратного профиля является его способность одинаково выдерживать нагрузку в разных плоскостях.

Квадратный профиль по сравнению с круглым профилем менее подвержен таким нежелательным факторам как скручивание и излом. Именно благодаря этой особенности иногда преимущество в использовании отдается данному виду профиля

## **1.2 Описание конструкций из профильных труб и условий их эксплуатации**

Разновидность конструкций, изготавливаемых из профильного трубопроката очень высока. В основном из него изготавливаются

разнообразные фермы. Ферма — это конструкция, изготавливаемая из прямолинейных элементов, соединенных между собой в прочную и жесткую конструкцию неизменяемой геометрической формы[7]. Различают фермы по очертанию поясов и по типу решёток фермы (рисунок 1.5).

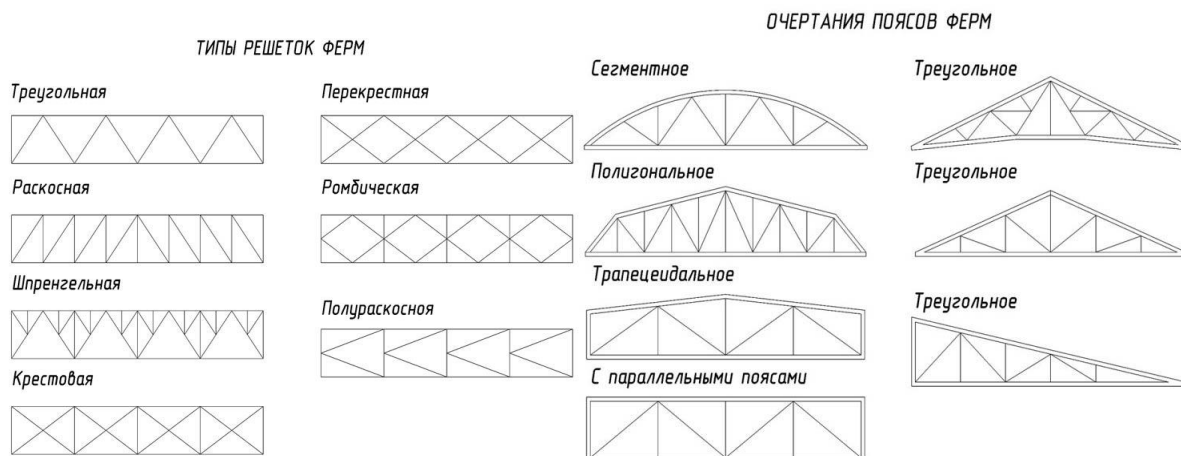


Рисунок 1.5 - Виды ферм

Профильные трубы являются оптимальным материалом для изготовления таких металлоконструкций, так как имеют не большой вес и высокие показатели прочности и жесткости, а также сам процесс изготовления ферм не требует дорогостоящего оборудования и высоких квалификационных навыков рабочего персонала.

Бесшовные трубы могут быть применены для транспортировки жидкостей или для изготовления каркасов безопасности транспортных средств (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 - Каркас безопасности ВАЗ 2101-2107

Профильные трубы используются в декоративной и мебельной промышленности, для изготовления деталей интерьера и вспомогательных сооружений типа строительных лесов.

### **1.3 Свойства материалов профильных труб**

Сферы применения профильных труб очень велики и это обуславливает выбор материала для их изготовления. При сочетании многих технических характеристик в каждом направлении использования отдается предпочтение эстетичному внешнему виду, повышенной прочности, легкости материала и так далее.

Важным фактором при изготовлении является возможность придать трубе необходимую форму, поэтому чаще всего используется углеродистая и низколегированная сталь (Ст3СП, 09Г2С) [8]. Однако, в машиностроение применяются профильные трубы и из легированной стали.

Одним из материалов является легированная сталь, что снижает вероятность деформации, изгиба или сжатия. Такие трубы мало подвержены коррозии воздействию агрессивной химической среды. Так же профильные трубы из коррозионно-стойкой стали термостойки и могут выдерживать высокий температурный режим. Область использования многообразна и разнообразна. В строительной промышленности они используются для изготовления несущих конструкций, в мебельной - для изготовления отдельных элементов изделия. Благодаря способности устойчиво переносить климатические и природные условия широко применяется в незащищенных уличных условиях при благоустройстве территорий и ландшафтном дизайне. Тонкостенные нержавеющие трубы используются для изготовления деталей точных изделий, а толстостенные в станкостроении. Широкое применение нержавеющей профиль кислотостойкий нашел в химической промышленности для транспортировки химически активных веществ [9].

Находят применение профильные трубы из меди. Пластичность, устойчивость к коррозии, легкость в обработке, эстетический вид,

длительный срок использования, относительно легкий вес характеризуют профильные трубы, изготовленные из меди. Недостатком таких труб является невозможность их использования в несущих конструкциях и опорах из – за недостаточные прочности. Большое преимущество – высокая теплопроводность, позволяет применять их в системах горячего водоснабжения и отопления. Данный вид профиля обладает так же хорошей электрической проводимостью [10]. Большую область применения медные профильные трубы нашли в дизайне для изготовления элементов интерьера и мебели.

Большую сферу применения нашли профильные трубы из алюминия. Легкость металла позволяет уменьшить затраты на его транспортировку и монтаж. При сборке конструкций можно не выполнять сварочные работы так как алюминий хорошо поддается сверлению и ручной обработке и возможно болтовое соединение труб. При небольших механических нагрузках профиль применяется в мебельной промышленности, обустройстве кабельных коммуникаций, изготовлении рекламного, торгового и выставочного оборудования. В пищевой промышленности используется для транспортировки сыпучих товаров благодаря экологической безопасности.

В автомобиле и судостроении, авиационной отрасли, нефтяной промышленности применяются алюминиевые сплавы, например, с кремнием и магнием, где магний повышает прочность, а кремний пластичность и литейные свойства. Возможность использования во влажных помещениях изделий из алюминиевой профильной трубы, даже без антикоррозийной обработки, значительно увеличивает спрос на данный вид профиля [11].

В данной работе рассматриваются углеродистые и низколегированные стали.

#### **1.4 Способы изготовления труб**

В настоящее время существует несколько видов производства профильных труб.

Широко применяются холоднодеформированные электросварные профильные трубы. Одним из способов формирования сварной профильной трубы является изготовление трубы из стальной полосы (штрипса) (рис.1.7).



Рисунок 1.7 - Штрипсы

Этот способ легче в производстве и поэтому более дешёвый. Стальная лента необходимой ширины помещается в барабан и затем пропускается через валки, которые формируют профильные трубы необходимых технических характеристик. Затем с помощью высокочастотной сварки обрабатывается стык и образуется шов. Для устранения механических напряжений трубу нагревают. Обязательным условием производства является контроль выполнения сварного шва, так как от него зависит качество изделия. Удобство метода – непрерывность процесса до окончания штрипса в барабане. Такой вид изготовления имеет высокую производительность, но трубы не используются, если при эксплуатации будут подвергаться высокому давлению изнутри[12].

При высоких требованиях к безопасности и большим нагрузкам используются профильные трубы, изготовленные деформированием

бесшовной горячекатанной или холоднокатанной трубы. Для их изготовления используют стальные заготовки – штанги. Штангу при определенных температурных режимах доводят до пластичного состояния не доводя до плавления. Затем на прессе для прошивки ей придается форма пустого изнутри цилиндра, называемого гильза.

На этапе горячей деформации, проходящему под действием вальцов, ранее изготовленной гильзе придаются необходимые значения толщины стенки и диаметра[13].

При производстве холоднодеформированных труб гильза охлаждается ниже температуры рекристаллизации и так же проходит обработку вальцами. Перед калибровкой профильную трубу нагревают до температуры рекристаллизации и оставляют охлаждаться естественным путем [14].

Таким образом, наиболее производительным способом изготовления профильной трубы из стальной ленты является сварка током высокой частоты.

Следовательно, для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработка технологического процесса производства профильной трубы прямоугольного сечения с использованием сварки током высокой частоты,
- 2) выбор оборудования для данного технологического процесса,
- 3) проектирование конструкции теплицы из профильной трубы,
- 4) расчет экономического эффекта и экологической безопасности объектов проектирования.

## **2 Конструкция теплицы из профильной трубы**

### **2.1 Описание конструкции теплицы и выбор профиля трубы**

Теплица представляет собой прямоугольную сварную конструкцию, установленную на ленточный фундамент. Крыша представлена в виде треугольной фермы с прямоугольной решёткой и имеет угол наклона в 22 градуса. Длина теплицы составляет 6 метров, что обосновывается аналогичной стандартной длиной профильного трубопроката. Теплица имеет дверь высотой 1.75 м и шириной 0.925 м расположенную с торца, а также окно размерами 0.97\*1 м. для проветривания внутреннего пространства (рисунок 2.1).

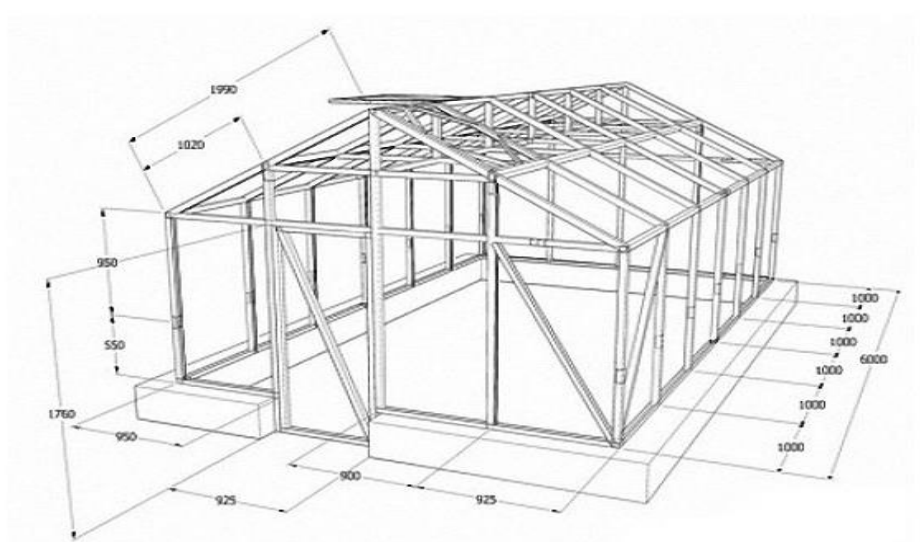


Рисунок 2.1 – Эскиз теплицы из профильной трубы

Основным материалом для изготовления каркаса теплицы служит прямоугольная профильная труба размерами 40\*20 мм, и толщиной стенки 2 мм (рисунок 1.1).

### **2.2 Обоснование выбора изготовления прямоугольного профиля трубы**

Выбор профильной трубы оптимален для создания подобного рода конструкций, так как имеет высокую прочность, обеспеченную четырьмя ребрами жесткости, на которые ложится основная нагрузка. К плоским сторонам трубы удобно крепить листы поликарбоната – обшивки теплицы.



Труба имеет не большой вес, что позволяет производить процесс создания теплицы без вспомогательного оборудования. Удовлетворительная коррозионная стойкость трубы, обусловленная возможностью нанесения цинкового покрытия, использования легированного материала или грунтовки и покраски готового изделия.

### 2.3 Выбор геометрических параметров профиля трубы и материала

В качестве производимого изделия будет рассмотрена профильная труба прямоугольного сечения ГОСТ 8645 - 68 (рисунок 2.2).

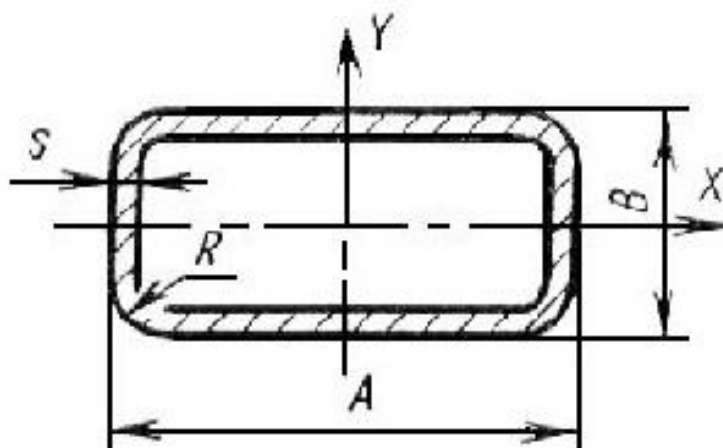


Рисунок 2.2 - Чертеж прямоугольной профильной трубы

Таблица 2.1 - Характеристики прямоугольного профиля

A, мм	B, мм	S, мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг
40	20	2	2,17	1,70

Для данной профильной трубы материалом будет являться сталь 0,8пс. Выбор обосновывается высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и

прочностью исходного материала [15]. Он обладает важными техническими и экономическими характеристиками: свариваемость - без ограничений, кроме химико - термически обработанных деталей, не склонен к хрупкости, твердость - 131 МПа, относительно невысокая стоимость.

Изначальной заготовкой для производства трубы будет являться холоднокатаная лента - штрипс. Регламентирующий документ-ГОСТ 50381. Геометрические характеристики выбраны из сортамента данного ГОСТа – ширина - 123 мм, толщина - 2 мм.

### **3 Проектирование технологического процесса производства прямоугольной профильной трубы из штрипса**

#### **3.1 Особенности сварки ТВЧ**

Изначально идея применения токов высокой частоты для сварки металлов была предложена советским ученым во главе с А.В. Улитовским в 1946 году. Интенсивные работы по созданию технологии и оборудования для высокочастотной сварки труб начались в 50-е годы. Был разработан промышленный способ, при котором изделие с V-образной разделкой кромок попадает в сварочный узел, к кромкам с помощью скользящих контактов или индуктором подается ток высокой частоты, таким образом, чтобы он переходил от одной кромки к другой. Из-за поверхностного эффекта и эффекта близости, который усиливается по мере сближения кромок, достигается высокая концентрация тока в месте схождения.

Равномерное и максимально удачное расположение тока, высокая концентрация мощности на кромках изделия, позволяет оплавливать непосредственно тонкий слой металла на поверхности. Оплавленные кромки дополнительно обжимаются с помощью валков. Глубины проплавления достаточно для получения прочного качественного сварного соединения [16]

С помощью высокочастотной сварки можно сваривать не только изделия, изготовленные из металла, а также пластмассы и полиэтилена [17]. Помимо этого, данный вид сварки часто используется в упаковочных и герметизирующих применениях и особенно подходит для медицинской промышленности, поскольку в ней не используются растворители или клеи, которые могут быть источниками загрязнения [18]. ВЧ-сварка обычно используется только для соединения пленок и тонких листов. Это связано с тем, что достаточно сильное электрическое поле для плавления материала может быть достигнуто только тогда, когда зазор между электродом и противоположной плитой составляет менее 1,5 мм [19].

Сварка т.в.ч. основана на использовании законов полного тока и электромагнитной индукции, а также следующих явлений:

1) поверхностный эффект, сущность которого заключается в неравномерном распределении переменного тока по сечению проводника. Наибольшая плотность тока наблюдается на наружной поверхности. По мере удаления от нее плотность тока постепенно уменьшается. Чем больше значение частоты, тем, выше скорость снижения плотности тока. При высоких значениях частоты ток проходит только по тонкому поверхностному слою проводника. Данный эффект весьма сильно увеличивает поверхностное сопротивление, что значительно усложняет передачу переменного тока. Однако именно поверхностный эффект позволяет сконцентрировать выделение энергии в поверхностных слоях нагреваемого изделия, что необходимо для осуществления процесса высокочастотной сварки[20].

Глубина проникновения ТВЧ является важным параметром, она позволяет оценить степень проявления поверхностного эффекта, и оптимально правильно выбрать частоту тока для выполнения технологического процесса. В таблице 3.1 рассчитаны глубины проникновения тока при различных частотах.

Таблица 3.1 - Глубина проникновения тока  $\Delta$  при различных частотах

Материал	Температура °С	Удельное сопротивление $\rho \cdot 10^8$ , Ом*м	Глубина проникновения $\Delta \cdot 10^2$ (м)				
			При частотах тока (кГц)				
			10	70	440	1760	5280
Сталь	1000-1300	130	0,575	0,210	0,086	0,030	0,0200
Медь	20	1,84	0,068	0,026	0,010	0,004	0,0025
Алюминий	20	2,95	0,096	0,030	0,013	0,005	0,0032
Латунь	20	7,00	0,133	0,050	0,020	0,007	0,0046
Молибден	20	5,80	0,121	0,045	0,018	0,006	0,0043
Вольфрам	20	6,90	0,132	0,050	0,020	0,007	0,0046
Серебро	20	1,65	0,064	0,024	0,010	0,003	0,0020
Титан	20	175,00	0,665	0,250	0,100	0,030	0,0200

2) эффект близости, который возникает при протекании переменного тока в проводниках. При этом они находятся не только в собственном переменном магнитном поле, но и в поле других проводников. На рисунке 3.1 изображена картина магнитного поля двух проводников при встречном (а) и одинаковом направлении (б) токов.

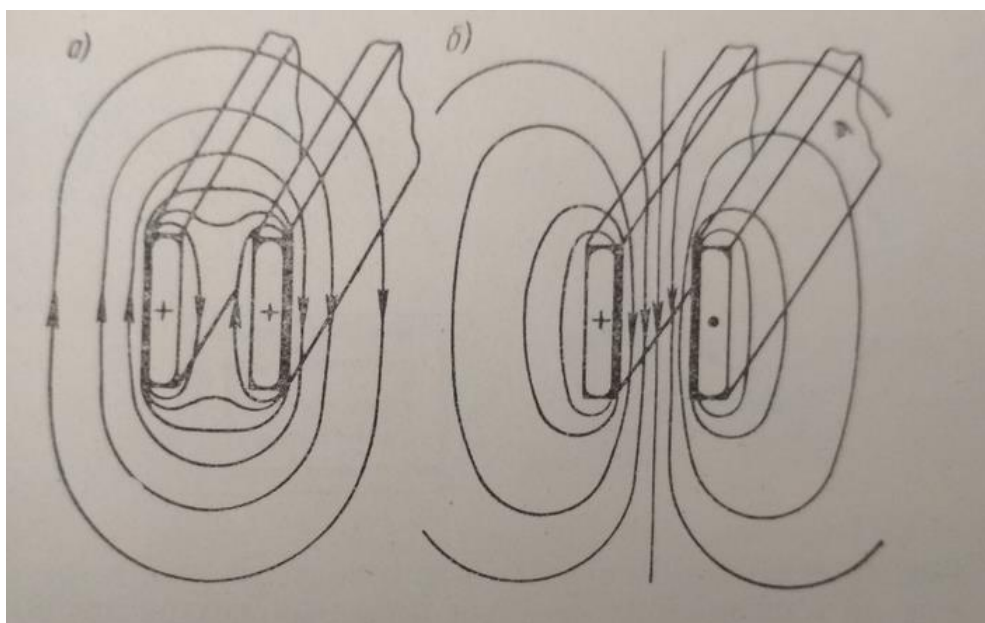


Рисунок 3.1 - Изображение магнитного поля: токи в проводниках протекают одинаково (а), встречно (б)

Из изображения видно, что из-за взаимодействия магнитных полей наибольшая напряжённость магнитного поля наблюдается на рисунке (Б) у внутренней поверхности проводников. В этой зоне плотность тока наибольшая. Анализируя картину магнитного поля двух проводников, при одинаковом направлении тока, можно заметить, что эффект близости является формой проявления поверхностного эффекта.

Чем меньше расстояние между проводниками и выше частота тока, тем больше проявляется эффект близости. При индукционном нагреве токи в нагреваемой детали и индукторе находятся в противофазе. Из этого следует что, используя данный эффект, можно подобрать соответствующую форму

индуктора, чтобы сконцентрировать ток на участках изделия, которые необходимо нагреть[21].

3) кольцевой (катушечный) эффект, когда при свёртывании проводника с током в спираль, наибольшая плотность тока наблюдается на внутренней поверхности катушки. При этом магнитное поле, относительно оси проводника становится несимметричным, что видно на рисунке 3.2

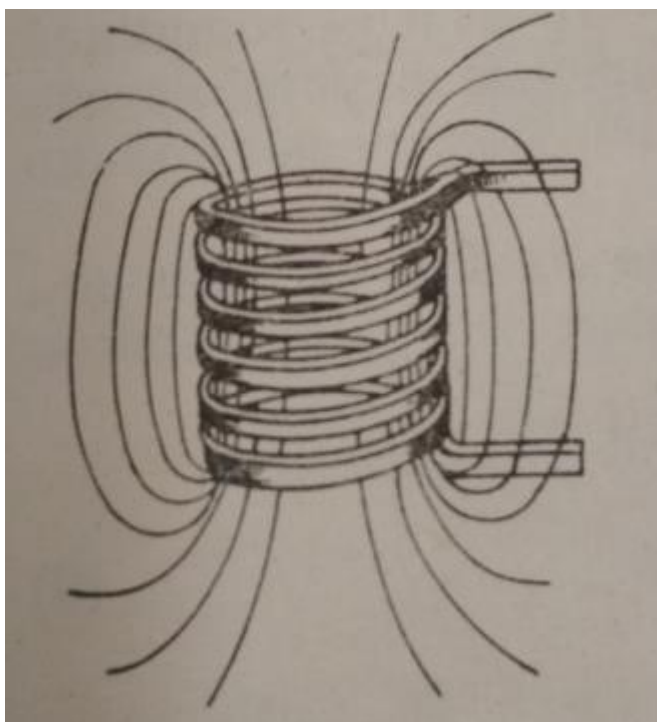


Рисунок 3.2 - Изображение магнитного поля проводника, свернутого в спираль

Внутри кольца напряженность поля увеличивается и основной зоной концентрации тока является внутренняя поверхность проводника. Для нагрева цилиндрического изделия охватываемыми индукторами данный эффект оказывает положительное влияние, путем увеличения концентрации тока на наружной поверхности детали. Однако при нагреве внутреннего пространства детали кольцевой эффект оказывает негативное влияние[22].

4) влияние магнитопроводов на распределение тока в проводнике. Если окружить с трех сторон проводник, по которому протекает ток высокой

частоты ферромагнитным материалом, который имеет большое электрическое сопротивление, то распределение тока в проводнике резко изменится. С достаточной для практики точностью, можно считать, что практически весь ток будет стянут к открытой кромке проводника. Вытеснение тока влечет за собой увеличение активного и реактивного сопротивления. Из этого следует, что создание разомкнутой магнитной цепи вокруг проводника приводит к перераспределению тока по его сечению. Чем больше глубина паза и частота тока, тем больше тока распределено по сечению проводника.

Если проводник свернут в кольцо, достаточно надеть на него П-образный магнитопровод, оставив открытой внешнюю сторону, тем самым заставив ток протекать не по внутренней, а по внешней части проводника. Этим приемом пользуются при конструировании индукторов для нагрева внутренних поверхностей [23].

Образование сварных соединений с помощью высокочастотной сварки можно разделить на 3 группы.

1. Сварка давлением с оплавлением. Этот процесс наиболее широко распространен при производстве изделий из черных или цветных металлов с непрерывным швом. Осуществляется при предварительном нагреве и местном оплавлении кромок изделия с последующим поджатием кромок валками. Сварное соединение образуется между поверхностями, находящимися в твердом агрегатном состоянии. Скорость нагрева достигает  $150 \cdot 10^3$  °C/с; осадка -0,15-1,5 мм; скорость осадки 2000мм/с.

2. Сварка давлением без оплавления. Осуществляется с предварительным подогревом свариваемых поверхностей изделия до температуры ниже точки плавления свариваемого металла. Скорость нагрева не превышает 400 °C/с; осадка -2,5-6,0 мм; скорость осадки 20мм/с.

3. Сварка плавлением без давления. Осуществляется нагревом свариваемых элементов до оплавления. Ванна расплавленного металла

застывает, образуя сварной шов без приложения давления. При данном способе скорость нагрева изделия доходит до 8000 °С/с. [16]

### **3.2 Выбор параметров режима сварки токами высокой частоты**

Для расчета параметров сварки необходимо рассчитать диаметр круглой трубы, из которой в последствии будет сформирован прямоугольный профиль. Расчет производится по формуле (1)

$$D=C/\pi, \quad (1)$$

где С - ширина ленты.

Так как ширина выбранной для производства трубы ленты составляет 123 мм, то её внешний диаметр будет равен 39,2 мм. Толщина стенки равна 2 мм, следовательно, внутренний диаметр будет равен 35,2 мм.

Скорость сварки трубы одинакова со скоростью всей производственной линии и составляет 50 м/мин. Подвод тока к изделию осуществляется с помощью многовиткового индуктора. Он расположен на расстоянии 100 мм от места поджатия. Расчет мощности для выбора оборудования определяется по формуле (2).

$$P=p_0 2dU, \quad (2)$$

где  $p_0$  - приведенная мощность,

$2d$  - толщина стенки,

$U$  - скорость сварки.

Так как сварка происходит без применения ферромагнитного сердечника, то  $p_0 = 1,8$  кВт/(мм\*м/мин). Тогда формула (2) принимает следующий вид

$$P=1,8*2*50=180 \text{ кВт.}$$

Обеспечить необходимую скорость сварки способны установки с мощностью на 250 и 400 кВт. Установка мощностью в 400 кВт значительно сложнее и дороже в эксплуатации, поэтому оптимальной является ВЧС2-250/0,44 мощностью 250 кВт. Анодное напряжение установки ВЧС2-250/0,44 составляет 11.5 кВ. Частота сварочного тока данной установки составляет 440 кГц и является оптимальной для сварки требуемого диаметра трубы.



### 3.3 Технологический процесс изготовления профильной трубы размерами 20\*40\*2 мм

#### 1) Установка рулона ленты

Выбранный штрипс закрепляется на барабане размотчика рулона консольно – односторонней линии по производству профильной трубы (рисунок 3.3).

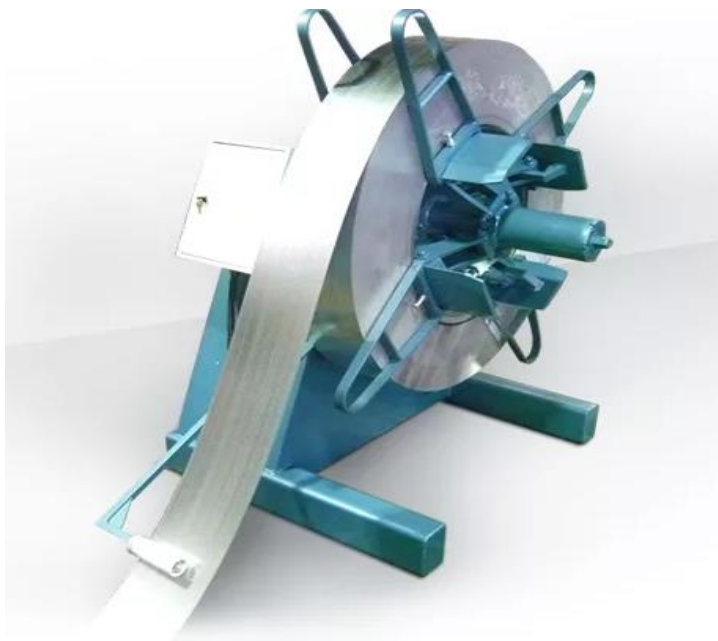


Рисунок 3.3 - Размотчик рулона

Так как вес ленты при длине 150 м составляет 288 кг, то закрепить ее на барабане без применения специального оборудования не представляется возможным. Для этого используется вилочный погрузчик и набор инструментов для фиксации штрипса на барабане размотчика. Грузоподъемность погрузчика должна быть не менее 500 кг. Рулон ленты должен быть установлен максимально перпендикулярно полу. Перекос штрипса превышающий 5 мм не допустим.

#### 2) Правка штрипса

На следующем этапе осуществляется правка штрипса. Разматываемая лента проходит через пару валков, что способствует

устранению возможных неровностей и загибов, возникших в ходе подготовки и транспортировки штрипса. Расстояние между поверхностями валков должно находиться в диапазоне от 2.20 до 2.40 мм. Походя через них, лента разворачивается из горизонтального положения в вертикальное.

### 3) Сварка концов ленты

Для увеличения производительности и непрерывности производства штрипс проходит через сварочную станцию с гильотиной (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 - Сварочная станция

На этом этапе подвергаются обрезке конец предыдущего и начало следующего рулона. Материал ножей 12 Cr, прижим штрипса и привод ножниц пневматический. Давление воздуха в системе 8 Bar. Затем происходит автоматическая стыковая сварка начала с концом в среде аргона. При толщине ленты 2 мм диаметр вольфрамового электрода 2,5 мм, Сварочный ток 90 А, постоянный, прямой полярности, скорость сварки 12 см/мин, расход аргона 4 л/мин. Далее следует выравнивание сварного шва путем удаления грата - излишков металла, остающихся на поверхности в месте сварного соединения, с помощью резца. Допустимая высота грата, оставшегося после удаления, не более 0,1 мм. Данная процедура способствует выпуску качественной профильной труб без ограничения длины.

#### 4) Накопление ленты

В линии производства профильных труб неотъемлемой частью является горизонтальный спиральный накопитель. Он представляет собой барабан (рис.2.4), состоящий из окружностей разных диаметров. Диаметр внешней стороны большего размера, чем внутренней. На наружную сторону наматывается лента. Одновременно с этим процессом происходит ее транспортировка с внешней на внутреннюю сторону, откуда и подается в формирующее устройство. Благодаря большому радиусу наружной стороны барабана, при завершении ленты на ней образуется запас, который позволяет в это время произвести замену и сварку конца предыдущего и начала следующего рулона без остановки подачи ленты в прокатный стан.

Скорость приема полосы 70м/мин, отдачи 50м/мин; мощность привода принимающего блока 7,5 кВт, накопительного блока 11 кВт; емкость накопителя 750 м.

Для предотвращения выскальзывания ленты накопитель оборудован блоками роликовых прижимов. Привод прижима и освобождения ленты- пневматический.



Рисунок 3.5 - Горизонтальный спиральный накопитель

### 5) Профилирование круглой трубы

Лента подается в прокатный стан для формирования круглой трубы и профилируется с открытым стыком, путем прохождения через ряд формирующих роликов (рисунок 3.6), изготовленных из материала - сталь 42 CrMo, твердость которых составляет 53 HRC.

Допустимая величина максимального отклонения внешнего диаметра труб, производимых на данном прокатном стане составляет  $\pm 0,5$  мм от его номинального значения равного 39,2 мм.



Рисунок 3.6 - Прокатный стан для формирования круглой трубы

Количество формирующих роликов прокатного стана составляет 7 пар. Мощность серводвигателя 55 кВт при 1500 об/мин.

### б) Сварка продольного стыка

Круглая труба с открытым стыком попадает в установку для высокочастотной сварки.



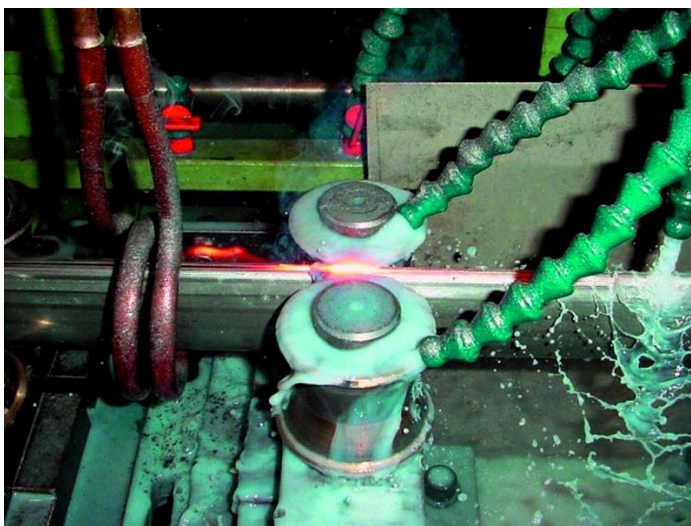


Рисунок 3.7 - Процесс высокочастотной сварки

Высокочастотная сварка – способ сварки давлением с оплавлением, где, нагрев крайних кромок трубы производится на глубину 0,1 – 0,15 мм током высокой частоты (рисунок 3.7). За счёт параллельного протекания токов в противоположных срезам, кромки стремятся сблизиться друг с другом. Помимо этого, происходит сильное сжатие трубы с помощью валков, расстояние между которыми составляет 39,2 мм. Сварка происходит при частоте тока 440 кГц. Скорость сварки 50м/мин. Анодное напряжение составляет 11.5 кВ. Сжимающие валки находятся на расстоянии 100 мм. от индуктора. Валки изделие и индуктор охлаждаются водой[24].

#### 7) Удаление грата и охлаждение

Удаление грата со сварного шва с наружной стороны трубы производится в его нагретом состоянии, непосредственно за сварочной установкой на расстоянии 400 мм. Оборудованием для этого процесса является наружный гратосниматель. Частью, непосредственно удаляющей наружный грат, является резец с напайкой из твердого сплава. Допустимая высота, грата, оставшегося после удаления, не более 0,2 мм. На станине установлены два резца, что позволяет произвести замену изношенного без остановки производства. Движение резца вверх-вниз производится с

помощью пневмопривода. Для предотвращения прогиба трубы, она поддерживается роликом.

Удаление внутреннего грата, при необходимости, производится для труб диаметром больше 50 мм, что не предусматривает его удаление в данном технологическом процессе [25].

После прохождения через гратосниматель труба подвергается обработке смазывающей охлаждающей жидкостью на основе воды в блоке эмульсионного охлаждения. Охлаждение происходит до температуры 40<sup>0</sup>С.

#### 8) Профилирование прямоугольной трубы



Рисунок 3.8 - Станок для профилирования

Профилирование круглой трубы в прямоугольную происходит при ее прохождении через вальцы станка (рисунок 3.8). С помощью них достигаются заданные геометрические характеристики. Вальцы деформируют круглую трубу до необходимой формы в несколько этапов.

#### 9) Контроль качества

После профилирования прямоугольной трубы происходит вихре токовая дефектоскопия с помощью специального оборудования. В результате данного контроля происходит обнаружение поверхностных и подповерхностных дефектов шва[26].

## 10) Резка труб, визуальный контроль и упаковка

Резка труб производится с помощью передвижного отрезного устройства (рис.3.9)

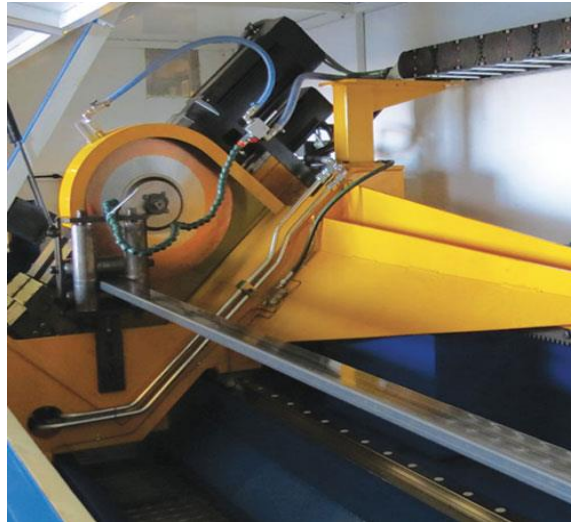


Рисунок 3.9 - Передвижное отрезное устройство

Устройство перемещается со скоростью, равной скорости перемещения трубы, параллельно с ней. Во время этого происходит резка на части длиной 6 м пилительным диском с наружным диаметром 500 мм, толщиной 2,5 мм, количеством зубьев - 216. Допустимое отклонение от заданного значения длины составляет  $\pm 3$  мм. В процессе резки происходит охлаждение места реза смазывающей охлаждающей жидкостью на основе воды.

Готовые изделия попадают на стол приема готовой продукции, который представляет собой конвейер с приводными роликами. Складирование продукции происходит в одну сторону. Трубы складываются в штабель вручную. На этом этапе происходит визуальный контроль.

## **Экологическая безопасность объекта проектирования**

При выполнении технологического процесса производства профильной трубы оказывается негативное влияние на окружающую среду. В рассмотренном технологическом процессе вредные воздействия на атмосферу оказываются при:

- 1) высокочастотной сварке – сварка продольного шва трубы,
- 2) аргонно-дуговой сварке – сварка начала и конца штрипсов.

При мощности агрегата сварки ТВЧ равной 180 кВт происходит выделение 58,2 г/ч оксида железа и 1,8 г/ч марганца и его соединений. Так как использование аргонно-дуговой сварки минимально её негативное воздействие незначительно и им можно пренебречь.

По сравнению с большинством других видов сварки, например, сварка покрытым электродом или сварка под слоем флюса, где в процессе сварки в окружающую среду выделяется большое количество сварочного аэрозоля, состоящего из оксидов, легирующих элементов, находящихся в составе обмазки электрода или во флюсе, негативное воздействие минимально. Например, если для сварки продольного шва трубы использовать полуавтоматический способ сварки, где средняя скорость образования сварного соединения составляет 25 м/ч на производство 100 м трубы потребуется 4 часа. За это время выделится 40 г сварочного аэрозоля который состоит из 30,68 г оксида железа, 7,6 г марганца и его соединений, 1,72 г неорганической пыли содержащей оксид кремния. Получение аналогичного количества трубы способом высокочастотной сварки происходит в течении двух минут и выделение составит 1,94 г оксида железа и 0,25 г марганца и его соединений. Данные показатели меньше в 15,8 и 30,4 раз соответственно[27].

Для снижения негативного влияния при сварочном производстве необходимо устанавливать фильтры, системы вентиляции на рабочих местах, проводить контрольные мероприятия по выявлению отрицательного воздействия на окружающую среду.



## **Экономическая эффективность технологического процесса**

Средняя стоимость линии по производству профильной трубы составляет 130 000 000 рублей. В эту стоимость входит оборудование и производственное помещение. При изготовления профильной трубы следует учитывать определенные затраты.

### **1) Приобретения сырья**

Стоимость одной тонны стальной ленты – 35 000 рублей. Вес одного метра профильной трубы составляет 1,7 кг, следовательно, из одной тонны можно изготовить 580 м. Так как скорость производства равна 50 м/мин при 8 часовом рабочем дне (из которых 1 час отводится на подготовку оборудования) в день производится 21 000 м трубы. Расход ленты составит 36 500 кг. Стоимость данного количества сырья будет равна 1 271 500 рублей.

### **2) Электроэнергия**

Основным потребителем электроэнергии является установка высокочастотной сварки, её мощность, потребляемая от сети равна 410 кВт. Помимо этого, прокатные и формировочные станы потребляют по 55 кВт, так же на вспомогательные механизмы потребляют в сумме 310 кВт. Общий расход потребляемой энергии составляет 830 кВт. За рабочий день потребляется 5810 кВт. При стоимости 1 кВт 4 рубля расход на электроэнергию составляет 23 240 рублей.

### **3) Дополнительные расходы**

В дополнительные расходы входят заработная плата рабочего персонала, коммунальные платежи (вода, отопление), приобретение спецодежды, расходы на рекламу, уплата налогов (зарплатных и производственных), транспортные расходы, амортизация оборудования и приобретение расходных материалов. В среднем ежедневные расходы равны 750 000 рублей.

Суммарные расходы дневного предприятия в один рабочий день составляют 2 044 740 рублей.

Рыночная стоимость одного метра профильной трубы размерами 40\*20\*2 составляет 131 рубль. С учетом производства 21 000 метров доход предприятия будет равен 2 751 000 рублей. Чистая прибыль производства в день - 706 260 рублей. При условии полной реализации и отсутствия происшествий на производстве окупаемость предприятия составит 184 дня.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы являлось повышение производительности изготовления профильной трубы. Для этого были рассмотрены и проанализированы различные способы изготовления профильных труб. Максимально производительным оказался метод изготовления трубы из стальной ленты с помощью высокочастотной сварки. Был разработан технологический процесс производства профильной трубы прямоугольного сечения и подобрано оборудование для данного технологического процесса.

Данный вид производства, помимо высокой производительности, характеризуется относительно невысокой стоимостью по отношению к другим способам изготовления. Профильные трубы, изготовленные сварным методом, не сильно уступают в прочности бесшовным аналогам, однако сумма, затраченная при производстве, а как следствие и цена готового изделия, гораздо ниже. Это позволяет широко использовать данный конструкционный материал в строительстве, машиностроении и сельском хозяйстве. Из этого следует, что профильные трубы при разнообразии форм, большой области применения, высокой экологической безопасности и доступной ценовой политике будут востребованы на рынках сбыта в большом количестве.

Разработанный технологический процесс позволяет производить прямоугольную профильную трубу, имеющую размеры 40\*20\*2 мм, со скоростью равной 50 метров в минуту. Данный показатель сильно превосходит скорости производства горячекатаных и холоднодеформированных профильных труб.

Из этого можно сделать вывод, что разработанный технологический процесс имеет высокую производительность и цель проекта достигнута.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. Производство профильных труб Интернет Инжиниринг, 2003 г.
2. ГОСТ 8645-68 Трубы стальные прямоугольные. Сортамент (с Изменениями N 1-4).
3. Виды профильных труб [Электронный ресурс]. – URL: <https://vseprotruby.ru/profilnye/tablisty-s-razmerami.html> (дата обращения: 20.11.2019).
4. ГОСТ 8642-68 Трубы стальные овалыные. Сортамент (с Изменением N 1).
5. ГОСТ 8639-82. Трубы стальные квадратные. Сортамент (с Изменениями N 1, 2, 3, 4).
6. ГОСТ 13663-86 Трубы стальные профильные. Технические требования (с Изменениями N 1, 2, 3).
7. Все о трубах [Электронный ресурс].–URL:<https://vseotrube.ru/stroitelnye-konstruktsii/fermy-iz-profilnya#i-2> (дата обращения 25.11.2019).
8. Марки стали профильных труб [Электронный ресурс]. – URL: <http://atmet.ru/marki-stali-profilnyh-trub> (дата обращения: 20.11.2019).
9. ВСН 350-75 Сортамент труб технологических трубопроводов на Ру ≤ 100 кгс/см<sup>2</sup> из легированной и высоколегированной МИНИСТЕРСТВО нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР.
10. Трубы медные [Электронный ресурс]. – URL: <http://trubamaster.ru/vodoprovodnye/truby-mednye-dlya-vnutrennego-vodoprovoda-preimushhestva-i-nedostatki.html> (дата обращения: 22.11.2019).
11. Алюмелевая труба [Электронный ресурс]. – URL: <https://furnicom.kiev.ua/alyuminievaya-truba-dostoinstva-i-nedostatki/> (дата обращения: 22.11.2019).

12. Radio-frequency welding [Электронный ресурс]. – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency\\_welding](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_welding) (дата обращения: 12.11.2019).
13. The Process Piping [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.theprocesspiping.com/introduction-to-seamless-pipe-manufacturing/> (дата обращения: 12.11.2019).
14. Романцев Б. А., Гончарук А. В., Вавилкин Н. М., Самусев С. В. Трубное производство НИТУ МИСиС 2011.
15. Сталь 08пс характеристики, расшифровка, химический состав [Электронный ресурс]. – URL: <https://metal.place/ru/wiki/08ps> (дата обращения: 22.11.2019).
16. Шамов А.Н., Лунин И. В., Иванов В. Н. Высокочастотная сварка металлов. «Машиностроение» 1977 г.
17. Hytrel Thermoplastic Polyester Elastomer Design Guide, Supplier design guide (H-81098), DuPont Company, 2000.
18. Jiri George Drobny, in Handbook of Thermoplastic Elastomers (Second Edition), 2014
19. In Handbook of Plastics Joining (Second Edition), 2009
20. Вологдин В.П. Поверхностная индукционная закалка. М., Оборонгиз, 1947г.
21. Глуханов Н.П., Богданов В.Н. Сварка металлов при высокочастотном нагреве. М.-Л. Машгиз 1962 г.
22. Нейман Л.Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. М.-Л., Госэнергоиздат, 1949 г.
23. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. Л., «Энергия» 1967 г.
24. Сварка токами высокой частоты [Электронный ресурс]. – URL: [https://bstudy.net/686399/tehnika/svarka\\_tokami\\_vysokoju\\_chastoty](https://bstudy.net/686399/tehnika/svarka_tokami_vysokoju_chastoty) (дата обращения: 25.11.2019).

25. Сварка труб [Электронный ресурс]. – URL: [https://studopedia.ru/15\\_104899\\_svarka-trub.html](https://studopedia.ru/15_104899_svarka-trub.html) (дата обращения: 20.11.2019).
26. Вихретоковая дефектоскопия сварных соединений [Электронный ресурс]. – URL: <https://extxe.com/1615/vihretokovaja-defektoskopija-svarnyh-soedinenij/> (дата обращения: 23.11.2019).
27. ГОСТ Р 56164-2014 Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей.