

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»  
Факультет «Заочный»  
Кафедра «Материаловедение и физико-химия материалов»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, начальник лаборатории НК

\_\_\_\_\_ (В.Н. Родионов)

\_\_\_\_\_ 17 января 2020г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ (Д.А. Винник)

\_\_\_\_\_ 2020г.

Анализ брака, возникающего при изготовлении змеевиков водяного  
пароперегревателя

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЮУрГУ–  
22.04.02.2020.321.ПЗ ВКР

Руководитель работы,  
доцент каф. МиФХМ, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ (Н.А. Шабурова )  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор проекта  
студент группы ПЗ - 343  
\_\_\_\_\_ (М.С. Гегеле)  
\_\_\_\_\_ 2020г.

Нормоконтролер  
доцент каф. МиФХМ, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ (Н.А. Шабурова )  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020 г.

## **Аннотация**

М.С. Гегеле Анализ брака, возникающего при изготовлении змеевиков водяного пароперегревателя – Челябинск: ЮУрГУ, М-343, 2019. – 63 с., 39 иллюстраций, 3 таблицы, библиографический список – 18 наим.

В выпускной квалификационной работе рассмотрена технология изготовления змеевиков водяного пароперегревателя из трубы размером 28х3 мм., из стали 20.

В работе произведён анализ условий работы и требования предъявляемые к изготовлению змеевиков водяного пароперегревателя из трубы размером 28х3 мм., из стали 20. Произведён анализ браков при изготовлении змеевиков а также проведено исследование отбракованной части змеевика.

В работе произведено: описание технологии производства змеевиков водяного пароперегревателя из трубы размером 28х3 мм., из стали 20, анализ брака при изготовлении змеевиков, исследование отбракованной части змеевика.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
1 Технология изготовления поверхностей нагрева.....	9
1.1 Пароперегреватели.....	9
1.3 Нормативные документы на продукцию ГОСТ, ТУ .....	16
1.4 Подготовка труб к производству .....	17
1.6 Гибка труб .....	23
1.7 Сварка труб .....	31
1.9 Постановка цели и задач исследования .....	39
2 Материал и методики исследований .....	40
3 Исследовательская часть .....	45
3.1 Химический анализ трубы 28х3 мм., сталь 20 .....	46
3.2 Технический условия изготовления змеевиков водяного пароперегревателя из трубы 28х3 мм., сталь 20 .....	47
3.3 Оценка неметаллических включений .....	48
3.4 Выводы по работе .....	58
4 Рекомендации по уменьшению брака при входном контроле металлопроката. .....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	62

## **ВВЕДЕНИЕ**

Объектом анализа в данной дипломной работе являются змеевики, используемые при изготовлении пароперегревателей. Цель работы - установить причины появления брака, возникающего при изготовлении змеевиков водяного пароперегревателя из трубы размером 28x3 мм., из стали 20.

Экономичность и надежность работы и парового котла, в не малой степени зависит от технологии изготовления всех его элементов. Поэтому, решение проблемы предотвращения брака при изготовлении элементов котла позволит не только выбрать технологические параметры процесса изготовления, но и сократить число поломок в работе этих элементов в процессе эксплуатации готовой конструкции. Проведенный анализ дефектов позволил ужесточить требования к входному контролю закупаемых материалов.

# 1 Технология изготовления поверхностей нагрева

## 1.1 Пароперегреватели

Получение перегретого пара из сухого насыщенного пара осуществляется в пароперегревателе. Промышленные паровые котлы обычно производят насыщенный или слегка перегретый пар. В паровых котлах необходимо производить пар с высоким перегревом, так как это увеличивает его энтальпию и, следовательно, тепловую эффективность паросилового цикла. В промышленных и энергетических паровых котлах малой мощности, когда пар перегревается до температуры  $500^{\circ}\text{C}$ , обычно устанавливают конвективные пароперегреватели, те, в которых передача тепла осуществляется преимущественно конвекцией. Для получения пара с температурой перегрева более  $500^{\circ}\text{C}$  применяют комбинированные пароперегреватели, то есть такие, в которых часть поверхности получает тепло от излучения, а другая часть за счет конвекции. Радиационная часть поверхности нагрева пароперегревателя расположена в виде экранов непосредственно в верхней части топочной камеры [14].

Трубы пароперегревателя работают в тяжелых температурных условиях даже при относительно низких температурах перегретого пара,  $450\text{-}500^{\circ}\text{C}$ .

Во всех случаях нагрева продуктами сгорания средняя температура металла всегда выше средней температуры охлаждающей среды, движущейся внутри труб. Температура металла стенки трубы зависит от равномерности нагрева продуктов сгорания змеевиков пароперегревателя в поперечном направлении, разности средней температуры продуктов сгорания и внутренней температуры стенки трубы, разности температур стенки трубы и средней температуры металла. Для экономайзеров и испарительных поверхностей нагрева с высокими коэффициентами теплоотдачи от стенки к воде или к пароводяной эмульсии и при отсутствии накипи на внутренней поверхности труб в наиболее неблагоприятных условиях температура металла не превышает температуру охлаждающей среды более чем на  $60^{\circ}\text{C}$ . В пароперегревателях температура пара (даже  $450^{\circ}\text{C}$ ) уже

близко к максимальной температуре, допустимой для углеродистой стали. Кроме того, коэффициент теплоотдачи от стенки к пару примерно на порядок меньше, чем к кипящей или не кипящей воде. Только эти факторы могут дать превышение температуры металла стенки трубы пароперегревателя на 50-70°C по сравнению со средней температурой пара. Поэтому тепловое разделение между змеевиками из-за их неравномерного нагрева продуктами сгорания или неравномерного распределения пара по отдельным змеевикам, а тем более осаждение накипи может привести к выходу из строя труб пароперегревателя [14].

Для уменьшения тепловой стреловидности в результате неравномерного распределения пара по отдельным змеевикам производится ввод дисперсного пара с трубами малого диаметра по всей длине распределительного коллектора, установка промежуточных смесительных коллекторов, разделение пароперегревателя на несколько частей по ширине с передачей пара из одной части в другую и т. д. Подробные рекомендации по выбору схем подачи пара приведены в «нормах гидравлического расчета паровых котлов».

Скорость пара оказывает существенное влияние на надежность работы пароперегревателя металла. Увеличение скорости пара в змеевиках пароперегревателя снижает температуру стенки трубы, но увеличивает гидравлическое сопротивление пароперегревателя. В пароперегревателях промышленных котлов скорость пара предполагается в пределах 20-25 м/с. При этих скоростях гидравлическое сопротивление пароперегревателя не превышает 5-6% от номинального давления пара [18].

В конвективных пароперегревателях используются различные схемы взаимного движения продуктов сгорания и пара. В соответствии с этим конвективный пароперегреватель может быть прямоточным, противоточным или смешанным. В прямоточных пароперегревателях продукты сгорания и пар движутся в одном направлении. При такой схеме движения самые высокие температуры продуктов сгорания компенсируются самой низкой температурой пара, что обеспечивает низкие температуры металла пароперегревателя. Однако

это происходит только в том случае, если в насыщенном паре отсутствуют соли [18]. Если есть соли, то их отложение будет происходить в змеевиках пароперегревателя, которые подвергаются наибольшему нагреву, к которому и приведут резкое повышение температуры металла. Кроме того, средняя логарифмическая разница температур в параллельном потоке пароперегревателя меньше, чем в противоточном, что при прочих равных условиях требует больших поверхностей нагрева и следовательно, увеличило бы стоимость пароперегревателя [14].

## **1.2 Применяемые материалы**

Змеевики водяного пароперегревателя обычно изготавливают из трубы диаметром 25-38 мм., сетчатые трубы обычно имеют диаметр 60 мм, а водяные и паровые трубы имеют диаметр 108-133 мм. [17].

Марка используемой стали и толщина стенки трубы зависят от параметров, при которых работают катушки пароперегревателя [18].

Для изготовления змеевиков пароперегревателей и паропроводов используются стали марок: 20, 12МФ, 12Х1МФ, 15ХМ, 12Х2МФСР, Х18Н9Т, Х18Н12Т и тому подобное [6].

В нашем случае для изготовления рулонов используется труба 28х3 мм из стали 20. Рассмотрим особенности этой стали.

Сталь 20 является одной из самых популярных сталей в производстве. Строительство и машиностроение, гидравлика и станкостроение, металлоконструкции и тракторостроение. Все эти отрасли в той или иной степени используют его. Какие характеристики стали 20 не позволяют ей утратить свою актуальность и по сей день?

Сталь 20 относится к группе высококачественных конструкционных сталей. Высокое качество означает ужесточение требований к химическому составу шихты, процессам плавки и литья [3].

Химический состав стали, согласно ГОСТ 1050 - 88 показан в таблице 1 [7].

Таблица 1 Химический состав стали, масс.%

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,17 – 0,24	0,17 – 0,37	0,35 – 0,65	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,3	до 0,08

Химический состав стали:

1. Углерод (0,2%). Цифра 20 в названии сплава отображает содержание данного компонента в сотых долях процента. Углерод ответствен за упрочнение. Увеличение его в составе приводит к повышению твердости и прочности. Обратным эффектом является параллельное уменьшение пластичности.

2. Кремний (0,17-0,35%). Основное назначение кремния – это удаление частиц водорода, кислорода и азота из состава сплава. Наличие данных газов в составе повышает пористость и количество газовых раковин, что сильно снижает прочность стали.

3. Марганец (0,35-0,6%), как и кремний, - сильный раскислитель, но помимо этого активно способствует удалению серы. Он положительно влияет на качество поверхности сплава. Также снижает вероятность образования трещин во время горячей обработки давлением. Улучшает протекание процессов сварки иковки.

4. Никель (до 0,3%), хром (до 0,2%) и медь (до 0,3%) в целом положительно влияют как на механические, так и на коррозионностойкие характеристики стали. Но их содержание слишком мало, чтобы оказать какое-то серьезное воздействие на сплав.

5. Фосфор (до 0,035%) и сера (до 0,04) относятся к вредным типам примесей. Их содержание является причиной повышенной хрупкости стали. Также сильно падает значение вязкости и, соответственно, устойчивости к ударным нагрузкам.

Остальная часть химического состава приходится на железо [4].



По уровню раскисления сталь марки 20 делится на 3 категории: спокойная, полуспокойная и кипящая.

Спокойная сталь 20 получается в результате полного удаления кислорода из состава сплава. Осуществляется это с помощью введения таких элементов как кремний и марганец. Данный тип стали включает минимальное количество оксидов железа, которое и способствует «спокойному» (без выделения газов) застыванию сплава в ковше. Сталь получается плотная и однородная по составу. Лишь в верхней части образуется газовая раковина, которая благополучно удаляется в процессе механической обработки.

Кипящая сталь 20 раскисляется только марганцем. Как результат, это становится причиной повышенного содержания закиси железа. Данное соединение при взаимодействии с углеродом образует углекислый газ. Как следствие, на поверхности расплавленного сплава начинают появляться газовые пузыри, создавая впечатление, будто сплав кипит. Данная сталь имеет высокую пористость. Ее химические компоненты неравномерно распределены по всему объему сплава. Все это приводит к резкому снижению механических характеристик, увеличению риска образования трещин и ухудшению свариваемости. Среди плюсов кипящей стали стоит отметить меньшую стоимость и безотходность производства [1].

Существует также полуспокойная сталь 20, которая по своим характеристикам представляет что-то среднее между двумя вышеописанными видами сталей [1].

Сталь 20 обладает большим количеством аналогов по всему миру. Среди них выделяются следующие марки: США 1020,1023; Германия 1.0402; Япония S20C; Франция 1C22; Китай 20.

Плотность стали 20 составляет  $7850 \text{ кг/м}^3$ . Плавиться начинает при температуре  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Окончательный переход в жидкую фазу происходит при  $1600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сталь 20 хорошо проводит и накапливает тепло. Коэффициент теплопроводности равен  $48 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ , а удельная теплоемкость  $490 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ . При

увеличении температуры сталь расширяется. Коэффициент линейного расширения равен  $11,6 \cdot 10^{-6}$  1/град.

Проводит электрический ток. Удельное электрическое сопротивление составляет 220 Ом·мм. Парамагнитен.

Сталь 20 не отличается высокой химической стойкостью к большинству кислот и щелочей. При взаимодействии с водой на ее поверхности начинают образовываться следы ржавчины, которые являются причиной резкого ухудшения внешнего вида и прочностных свойств.

Коррозионную стойкость повышают путем нанесения гальванических покрытий: цинка, хрома и т.д.

Главной особенностью стали 20 является высокая пластичность, умеренное значение твердости и прочности. Модуль упругости равен 200 МПа. Относительное удлинение при разрыве составляет 23-26 %, а относительное сужение до 55 %.

Предел прочности на разрыв колеблется в пределах 360-460 МПа, что в 2,5 раза меньше чем у нержавеющей стали. «Течь» (способность деформироваться без увеличения нагрузки) сталь начинает уже при 210-270 МПа. Обладает повышенной вязкостью, что позволяет сплаву справляться с достаточными ударными воздействиями. Ударная вязкость равна 780 кДж/м<sup>2</sup>. В условиях знакопеременных нагрузок работает значительно хуже. Предел выносливости находится на отметке 14 кг/мм<sup>2</sup>.

Прочностная характеристика стали может быть повышена проведением механического (наклеп и прокатывание роликами) или термического (нормализация и отжиг) упрочнения.

Сталь 20 является высокотехнологичным сплавом. Она хорошо поддается как обработке давлением так резанию. Штампуется как в горячем, так и в холодном состоянии. Не имеет предрасположенности к образованию трещин при обработке давлением [1].

Сплав относится к первой группе свариваемости. Его сварка не требует предварительного нагрева и последующей термообработки. Сварные швы плотные и при сварке в стыке по прочности не уступают твердому металлу.

Кроме того, сталь может принадлежать к категории цементированных сплавов. Процесс цементации включает в себя насыщение поверхности сплава частицами углерода. Для этого его нагревают в специальной среде из углекислого газа. В результате твердость цементруемого слоя достигает 62 HRC, в то время как ядро остается «мягким» 20-35 HRC. Такая химико-термическая обработка значительно повышает долговечность изделия при воздействии переменных нагрузок.

Все вышеперечисленные характеристики делают сталь марки 20 популярной при изготовлении различных видов прокатных профилей. Прокат получается двумя основными способами:

1. Горячая деформация. Применяют к заготовкам толщиной более 4 мм. Недостатком такой обработки является образование окалины, которая является дополнительным концентратором напряжений.

2. Холодная деформация. Применяется для прокатки заготовок толщиной до 4 мм. Главным преимуществом такой обработки является дополнительное упрочнение сплава в результате наклепа.

Из стали 20 производится следующая продукция:

1. Цельносварные холоднокатаные трубы. Листы складывают по радиусу и затем сваривают его края прямым швом.

2. Бесшовная труба. Получают горячим и холодным волочением. Особенности этих труб повышенная прочность по сравнению с их сварными аналогами и, как следствие, более высокая стоимость.

3. Все виды профилей: прутки, лист, уголки, швеллеры, двутавровая балка, проволока и так далее.

Особенности стали 20 позволили ей широко применяться в различных отраслях промышленности [1]. В машиностроении сталь 20 нашла применение как материал для изготовления соединительных муфт, шестерней и элементов

червячных пар. Также из нее делают всевозможные приспособления для крепления инструмента на станочном оборудовании и соединительные элементы между звеньями механизмов (кронштейны, валы и прочее) [9].

Применение стали 20 при производстве трубопроводной арматуры. Из нее изготавливают как трубы, так и переходные элементы: крестовины, штуцера, ниппеля, накидные гайки и т.д. [9].

В строительстве применение стали 20 обосновано сочетанием сплавом таких свойств как отличная свариваемость, умеренная прочность и низкая цена. Используется, в первую очередь, при производстве металлоконструкций. Из нее изготавливают разнообразные несущие фермы, поперечные перекладины и стойки, а также элементы крепежа: болты, гайки и т.д. [9].

### **1.3 Нормативные документы на продукцию ГОСТ, ТУ**

Стандарты производства изделий из марки 20:

сортовой прокат, в том числе фасонный - ГОСТ 1050-88, ГОСТ 2590-2006, ГОСТ 2591-2006, ГОСТ 2879-2006, ГОСТ 8509-93, ГОСТ 8510-86, ГОСТ 8240-97, ГОСТ 8239-89;

калиброванный пруток - ГОСТ 7417-75, ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78, ГОСТ 10702-78;

шлифованный пруток и серебрянка - ГОСТ 14955-77;

лист толстый - ГОСТ 1577-93, ГОСТ 19903-74;

лист тонкий - ГОСТ 16523-97;

лента - ГОСТ 6009-74, ГОСТ 10234-77, ГОСТ 103-2006, ГОСТ 82-70;

проволока - ГОСТ 5663-79, ГОСТ 17305-91;

поковки и кованые заготовки - ГОСТ 8479-70;

трубы - ГОСТ 10704-91, ГОСТ 10705-80, ГОСТ 8731-74, ГОСТ 8732-78, ГОСТ 8733-74, ГОСТ 5654-76, ГОСТ 550-75, ТУ 14-ЗР-55-2001

Трубы диаметром от 57 до 133 мм. изготавливаются горячекатаными. Трубы диаметром от 10 до 108 мм. холоднотянутыми, холоднокатаными и

теплокатаными. Горячекатаные трубы поставляются длиной не более 12 м., холоднокатаные и теплокатаные трубы могут быть длиной до 18 м. [8].

Трубы внутри и снаружи защищаются от коррозии на время транспортировки и хранения в течение 6 месяцев. Защитное покрытие не должно содержать масел [6].

Если контроль труб физическими методами выполнен в достаточном объеме, то гидравлическое испытание на заводе-изготовителе можно не производить, но и в этом случае завод гарантирует, что трубы выдержат необходимое давление.

Трубы поставляются партиями. Под партией труб понимаются трубы одной марки стали, одной плавки, одного размера, прошедшие термическую обработку в одинаковых условиях. Количество труб в одной партии – не более 200 штук [6]. На каждом конце трубы диаметром 25 мм. и более, толщиной стенки не менее 3 мм на расстоянии 200-300 мм. от конца клеймом наносится маркировка: марка стали и номер партии. Концы труб диаметром до 133 мм. плотно закрываются пластмассовыми колпачками [17].

Трубы поступают на котлостроительный завод в железнодорожных вагонах без специальной упаковки, кроме труб аустенитного класса, которые упаковываются в деревянные ящики [17].

#### **1.4 Подготовка труб к производству**

К надежности работы поверхностей нагрева предъявляются очень жесткие требования, так как любой случай нарушения их нормальной работы ведет к остановке котла, что связано с большими материальными потерями, особенно на котлах большой мощности. Поэтому к качеству металла труб следует относиться очень требовательно. К сожалению, нередки случаи, когда на котлостроительных заводах или, что еще хуже в процессе эксплуатации выявляются дефекты труб металлургического характера [17]. В связи с этим на всех крупных котельных заводах имеются цехи входного контроля труб перед запуском их в производство [13].

Входной осмотр начинается с наружного осмотра труб снаружи и изнутри. Трубы визуально контролируются на внешней поверхности, чтобы обнаружить глубокие порезы, вмятины, трещины, закаты, расслоение и тому подобное. Каждую трубку осматривают по всей поверхности, а внутреннюю часть трубки диаметром более 70 мм исследуют с помощью перископа [6].

Затем применяются методы неразрушающего контроля, такие как ультразвуковая и магнитная дефектоскопия. Эти методы позволяют выявлять как внутренние, так и поверхностные дефекты металла трубы. Обязательной операцией для входного контроля труб является проверка марки стали труб. Для этого проводится стилоскопирование [6].

Операции подготовки труб также должны включать такие операции, как очистка труб от ржавчины и сортировка [17].

После всех подготовительных операций технолог цеха производит раскрой змеевика или трубы, т.е. определяет расположение сварных соединений и деталей в соответствии с количеством и конфигурацией отдельных деталей, которые будут привариваться к рулону или трубе [6].

При составлении разреза необходимо учитывать следующие требования:

1. Количество сварных соединений должно быть наименьшим, а длина соединяемых труб как можно большей. Поэтому желательно получать трубы большей длины с трубопрокатных заводов.

2. Запрещается размещать сварные соединения на изгибах труб и в местах, где к ним приварены какие-либо детали.

3. Сварные соединения должны быть доступны для ремонта на электростанциях.

4. От начала изгиба до стыка должен быть прямой участок не менее 250 мм. для контактной сварки и не менее 50 мм. (но не менее диаметра трубы) для ручной сварки.

5. Резка должна обеспечивать минимальные потери труб.

6. При разработке процесса резки необходимо стремиться к получению как можно большего количества одинаковых деталей (см. рисунок 1) [17].

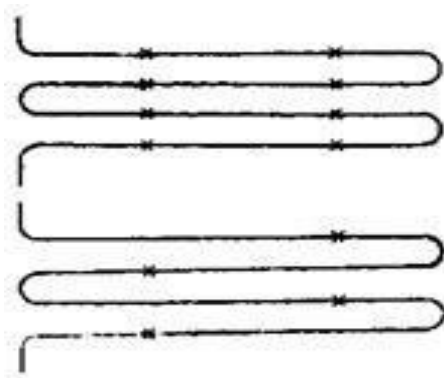


Рисунок 1 – Раскрой змеевика

Котельные установки определяют одну или несколько длин труб, соответствующих перечисленным выше требованиям, и заказывают измерительные трубы этих длин.

При определении длины заготовки технолог должен иметь в виду, что трубы удлиняются при изгибе [17].

Так, длина трубной заготовки отличается от длины трубы в трубном элементе на величину вытяжки при изгибе и величину допуска на контактную сварку [14].

### **1.5 Способы изготовления змеевиков и труб для поверхностей нагрева**

В конструкции котла известно несколько различных способов изготовления элементов поверхности нагрева [17].

Метод 1. Этот метод был широко распространен в 50-е годы он предусматривал резку трубных заготовок, гибку всех деталей, зачистку их под сварку, сварку деталей в рулон или трубу, плазировка, гидравлические испытания и чистовые операции (см. рисунок 2) [17].

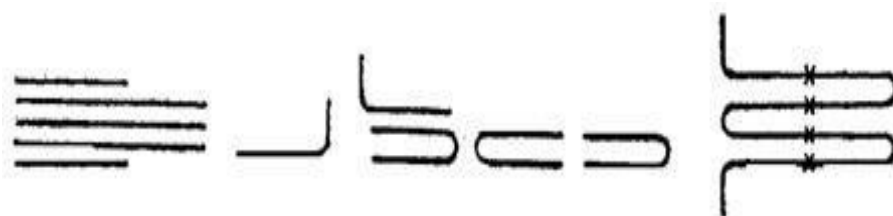


Рисунок 2 – Изготовление элементов поверхностей нагрева

Гибка деталей была одной из первых операций, а все последующие операции (зачистка под сварку, сварка) выполнялись на гнутых деталях.

Плаза это большая стальная или чугунная поверхность, собранная из нескольких прямоугольных листов, сваренных вместе. При изготовлении серии идентичных катушек используются Плазы, на которых нарисованный контур катушки ограничен изгибами и в середине прямых участков гладкими штифтами, вставленными в плаз и контролирующими контур всей катушки после стыковой сварки [14].

Метод 2. Увеличение параметров пара и использование высоколегированных труб для изготовления пароперегревателей обусловили необходимость разработки другого способа изготовления змеевиков, который первоначально использовался только при изготовлении змеевиков из нержавеющей стали и стали 12Х2МФСР. При изготовлении змеевиков из этих сталей предыдущим способом, то есть контактной сваркой предварительно изогнутых элементов, снять внутренний грат после сварки не представлялось возможным (см. рисунок 3) [17].

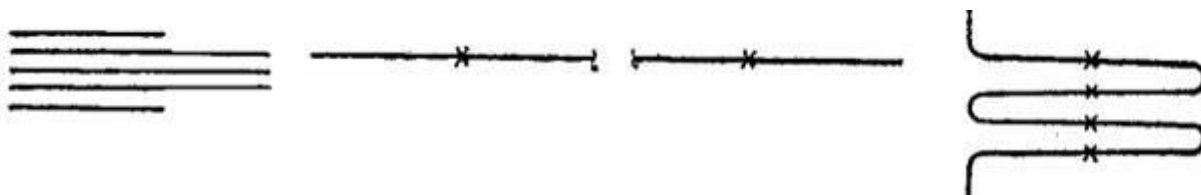


Рисунок 3 – Изготовление элементов поверхностей нагрева



Поэтому они стали сваривать прямые заготовки вместе в одну длинную трубу, а затем изгибать из нее змеевику, что позволило им использовать пневматическую оправку с возвратно-поступательным движением для снятия внутреннего града после сварки.

При такой технологии "плетевой" на прямых трубах выполняются операции резки, зачистки и сварки, что позволяет их механизировать и даже автоматизировать (это "+"), но процесс гибки усложняется, так как необходимо манипулировать всем змеевиком и невозможно согнуть с помощью дорна (это "-").

Ввиду явных преимуществ «плетевой» технологии ее стали применять при изготовлении не только змеевиков из высоколегированных сталей, но и любых змеевиков и труб. На основе этой технологии разработаны механизированные линии изготовления змеевиков [14].

Изготовление змеевиков с использованием «плетевой» технологии потребовало создания новых, специальных трубогибочных станков, исключаящих кантовку змеевика при его гибке, поскольку гибка на обычных трубогибочных станках сопровождается многочисленными переворотами змеевика в процессе гибки [14].

Метод 3. В попытке использовать преимущества обоих рассмотренных способов был разработан третий способ изготовления змеевиков, при котором внутренний грат после сварки удаляется пневмодорном, а на гибке применяются обычные трубогибочные станки с использованием дорна и без кантовок змеевика (см. рисунок 4) [17].

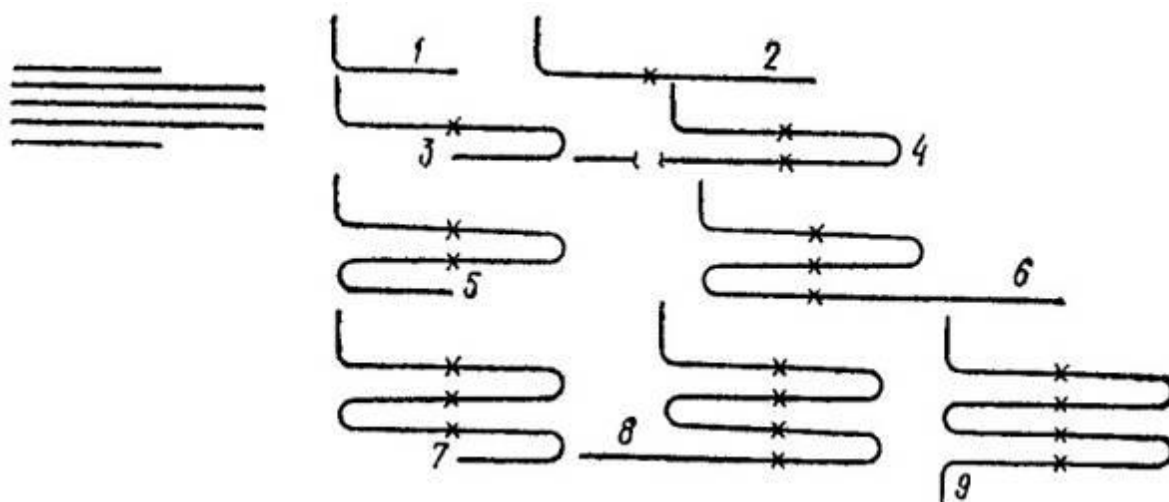


Рисунок 4 – Изготовление элементов поверхностей нагрева

В этом случае изгибают первую деталь змеевика и сваривают с прямой заготовкой, следующей по раскрою детали. Внутренний грат удаляют со стороны прямой заготовки пневмодорном. После сварки обе детали поступают на трубогибочный станок, где их изгибают с пристыкованной заготовкой.

По окончании гибки и проверки качества грибов узел повторно доставляется на контактный сварочный аппарат, где к нему приваривается следующая прямая заготовка. Теперь узел из трех сварных деталей подается на гибку и производится гибка приваренной прямой заготовки. Таким образом изготавливается весь змеевик [14].

Минусы. Недостатком этого способа являются частые перевозки змеевика в процессе изготовления и нерациональное использование гибочного и сварочного оборудования, которое простаивает во время перевозок и выполнения операций на соседнем рабочем месте. В связи с этим производительность труда при изготовлении змеевиков данным способом ниже, чем первых двух.

Производство водо-пароперепускных и других труб также можно вести двумя технологическими вариантами:

1. Гибка трубных элементов и последующая их сварка в трубу целиком,
2. Сварка трубы заготовки в плетъ и затем ее изгиб.

В первом варианте операция гибки не представляет сложностей, поскольку гибке, как правило подвергается труба длиной 6-9 м. и можно использовать дорн. На операции сварки гнутых элементов трубы следует тщательно следить за правильностью разворота ее отдельных частей.

Во втором варианте проще операция сварки, так как свариваются прямые трубы, но сложнее операция гибки, поскольку исключена гибка с дорном и приходится кантовать трубу длиной 12-16 м. [17].

## **1.6 Гибка труб**

Гибка труб различного диаметра широко применяется в котельной промышленности и наряду со сваркой, является основной технологической операцией.

Ежегодно отрасль производит несколько миллионов гибов. Главное требование при изгибе трубы сохранение проходного сечения неизменным в месте изгиба [14].

Гибы труб при изготовлении котла очень разнообразны. Угол загиба трубы может достигать  $360^\circ$  (спиральный змеевик); между двумя соседними гыбами может не быть прямого участка (гибка «из гыба в гыб»), причем такая гибка может выполняться как в одной плоскости, так и в разных плоскостях; прямые участки до и после гыба могут быть самой разной длины [14].

Что происходит с профилем трубы в процессе гибки? При изгибе трубы в ее стенках возникают напряжения: растяжение снаружи, сжатие изнутри (см. рисунок 5) [17]. Эти изменения вызывают: - преобразование круглого поперечного сечения трубы в овальное; — уменьшение толщины стенки трубы на выпуклой и вогнутой сторонах; - образование на вогнутой стороне складок (гофр).

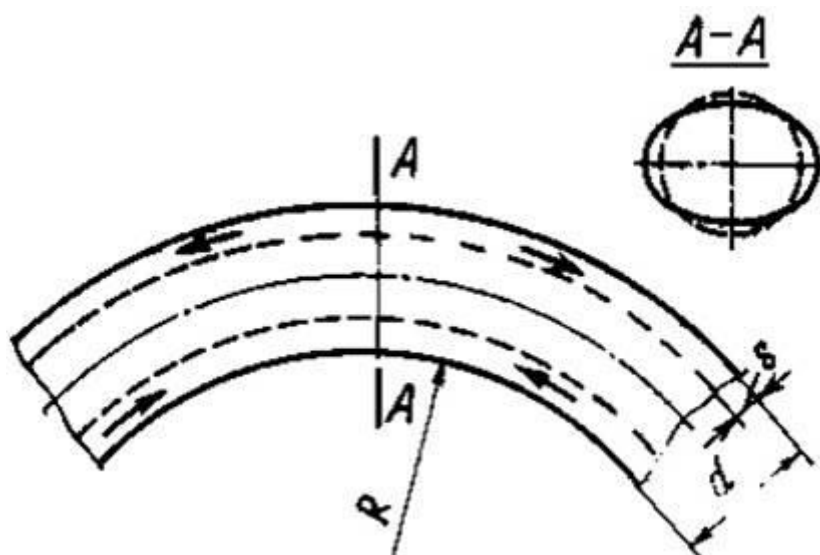


Рисунок 5 – Изменение толщины стенки трубы

Следует понимать, что пластическая деформация при изгибе распространяется на область изгибов труб и прилегающие к ним прямые участки длиной примерно от полутора до двух диаметров труб; поэтому здесь также нарушается поперечное сечение трубы.

Овальная форма трубы в месте изгиба зависит главным образом от радиуса изгиба и отношения толщины стенки трубы к ее диаметру. Большая ось овального сечения изогнутого участка трубы расположена в плоскости, перпендикулярной плоскости изгиба. Степень овальности  $a$  выражается в процентах:

$$a = \frac{(D_{max} - D_{min})}{D_H} \times 100\% \text{ или } a = \frac{(D_{max} - D_{min})}{(D_{max} + D_{min})} \times 100\%$$

где  $D_{max}$  – большая ось овала,  $D_{min}$  – малая ось овала,  $D_H$  – диаметр трубы (номинальный).

Овальность не должна превышать 10% для труб с поверхностями нагрева до 76 мм в диаметре и 8% для соединительных труб и трубопроводов [6].

Овальная форма трубы в месте изгиба уменьшает площадь поперечного сечения.

Вероятность гофрирования, как и овальности, возрастает с уменьшением радиуса изгиба и отношения толщины стенки трубы к ее диаметру. Гофры

повышают сопротивление движению среды и являются очагами засорения и коррозии трубы.

Исходя из вышеизложенного, желательно гнуть трубы до максимально возможного радиуса, используя толстостенные трубы, так как проще всего обеспечить качество гнутья [17].

При изгибе относительно тонкостенных труб с радиусом изгиба  $3D_n$  и менее участок трубы в месте изгиба имеет недопустимый эллипс, а иногда, кроме того, на внутренней стороне изгиба появляются гофры. Для предотвращения подобных явлений гибку таких труб производят на специальной оправке, вставляемой на стержне внутрь трубы. Эта оправка называется оправкой. Регулируя оправку, достигается желаемое качество изгиба [6].

Дорн представляет собой стержень с гибкими дисками, который расположен внутри трубы. Гибка с помощью дорна обеспечивает малый радиус изгиба, плавный, ровный изгиб и минимальную овальную форму трубы в месте изгиба [6].

Гибку труб можно разделить на машинную и ручную. Ручной изгиб практически не используется в конструкции котлов из-за низкой производительности.

Гибка на станках может быть холодной и горячей. «Горячая» гибка имеет меньшую производительности по сравнению с «холодной». При изготовлении стационарных трубопроводов из труб большого диаметра с большой толщиной стенки, изгибаемых на малые радиусы применяется технология гибки труб с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) [17].

Наиболее распространенной в котельной промышленности была холодная гибка труб на станках. Этот способ гибки труб диаметром до 219 мм., причем гибку можно выполнять способами: намоткой и обкаткой. Рассмотрим гибку труб методом наматывания на сектор (см. рисунок б).

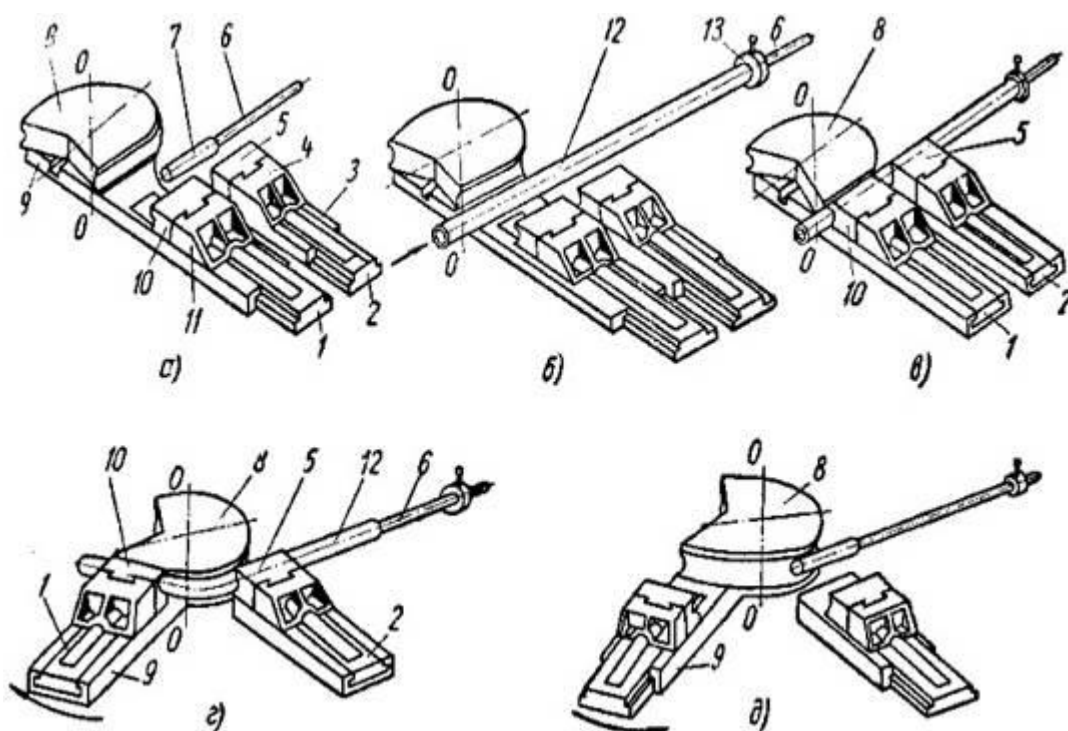


Рисунок 6 – Цикл гибки труб: а) подготовка станка к загрузке трубой, б) загрузка станка трубой, в) начало гибки трубы, г) гибкиа трубы, д) возвращение станка в исходное положение. 1-суппорт, 2-суппорт, 3-планка, 4-упор, 5-вкладыш, 6-стержень, 7-дорн, 8-гибочный сектор, 9-поворотный стол, 10-вкладыш, 11-упор, 12-труба

Цикл гибки труб на станке состоит из пяти основных приемов:

1-й прием заключается в подготовке рабочих органов станка к загрузке трубой.

Суппорты 1 и 2 вместе с упорами 11 и 4 и сменными вкладышами 5 и 10 отодвинуты от гибочного сектора 8. Сектор скреплен с поворотным столом 9 и располагается на общей с ним оси О-О [6].

Вкладыши, сменяемые в зависимости от диаметра труб, соединены с упорами 11 и 4 ласточкиным хвостом. Прижимной вкладыш 5 имеет гладкую поверхность желоб, по которому скользит труба. Зажимная вставка 10 имеет выемку на поверхности желоба для предотвращения выскальзывания трубы из зажима. Стержень 6 с оправкой 7 перемещается вправо. Второй конец штока шарнирно соединен со штоком гидроцилиндра [6].

2-й способ заключается в загрузке машины трубой. На стержне 6 после подачи стержня влево устанавливается фиксатор 13 и закрепляется болтами в нужном месте. Со стороны, указанной стрелкой, на оправку надевается труба 12, которая считается установленной, как только она достигает фиксатора.

3-й способ заключается в установке рабочих органов станка в положение, соответствующее началу гибки трубы. Свободный конец трубы зажат между сектором 8 и зажимной вставкой 10. Вкладыш 5 прижимает трубу к сектору, создавая направление и поддерживая трубу при изгибе. Зажим конца трубы и прижатие трубы к сектору осуществляется перемещением суппортов 1 и 2 в направлении сектора 8 под действием гидравлического давления [6].

4-й способ заключается в выполнении гибки трубы, т.е. в рабочем ходе станка.

Во время рабочего хода станка труба 12 зажимается между гибочным сектором 8 и опорой 1 с помощью зажимной вставки 10. Дорн расположен в то же время в зоне гиб. Стол 9 вращается вместе с гибочным сектором вокруг оси О-О с помощью гидравлического привода.

Труба 12, опираясь на неподвижное прижимное устройство 5 и скользя по нему, изгибается в форме гибочного сектора 8. Процесс гибки трубы продолжается до тех пор, пока поворотный стол 9 с трубой 12 не повернется вокруг оси О-О на заданный угол и его привод автоматически не выключится [17].

После отключения привода вращения стола и остановки машины рабочий использует гидравлический привод, соединенный со штоком, чтобы вытащить оправку из зоны гибки трубы. Затем суппорт давления 2 отодвигается и труба удаляется из машины. 5-й этап, завершающий цикл гибки труб, заключается в возвращении поворотного стола 9 и гибочного сектора 8 в исходное положение с помощью гидравлического привода. На этом цикл одного изгиба трубы заканчивается.

Гибка труб методом обкатки

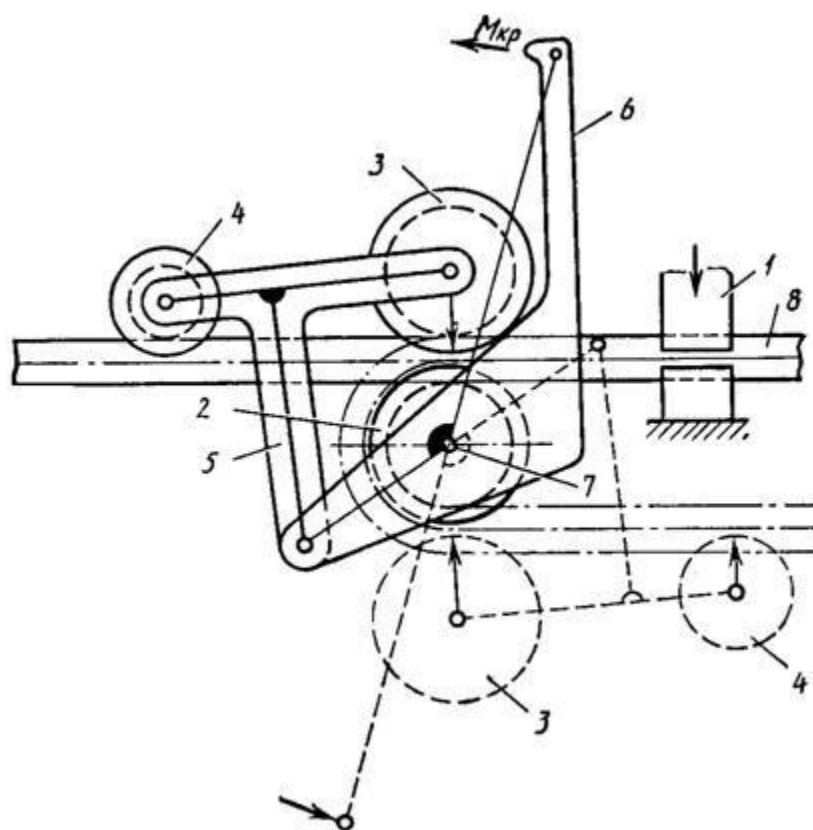


Рисунок 7 – Гибка труб методом обкатки

1-зажим, 2-гибочный сектор, 3-калибрующий ролик, 4-изгибающий ролик, 5-обойма, 6-ручка обоймы с роликами, 7-крепежный болт, 8-труба

В последнее время все чаще внимание технологов привлекают трубогибочные станки с использованием метода обкатки, при котором гибочный сектор 2 в процессе гибки остается неподвижным (см. рисунок 7), труба 8 крепится в зажиме 1 и также становится неподвижной. Участок трубы, который должен быть согнут, подвергается воздействию двух роликов: первый из них (по ходу гибки) 4 является изгибающим, второй 3 – калибрующим. Оба ролика заключены в единую обойму 5 и свободно вращаются на своих осях. Обойма с роликами прижимается к изгибаемой трубе и ей сообщается вращательное движение вокруг гибочного сектора. Гибочный сектор в различных конструкциях станков может быть установлен горизонтально либо вертикально. Применение дорна при гибке обкаткой выигрыша не дает, так как труба относительно дорна неподвижна и он не калибрует трубу в процессе гибки. Для уменьшения овальности трубы в



данном случае служит калибрующий ролик, который движется по гибу трубы вслед за изгибающим роликом [14].

Таким образом, при гибке обкаткой возможна только бездорновая гибка, что ограничивает ее применение при гибке труб на малые радиусыгиба. Кроме этого, при гибке обкаткой на трубе до началагиба должен быть оставлен достаточно большой прямой участок, иначе конец трубы не захватится изгибающим роликом. При гибке обкаткой невозможна гибка «изгиба в изгиб», без прямого участка между соседними гйбами. В этом отношении гибка труб методом наматывания более универсальна [17].

Гибка труб с индукционным подогревом.

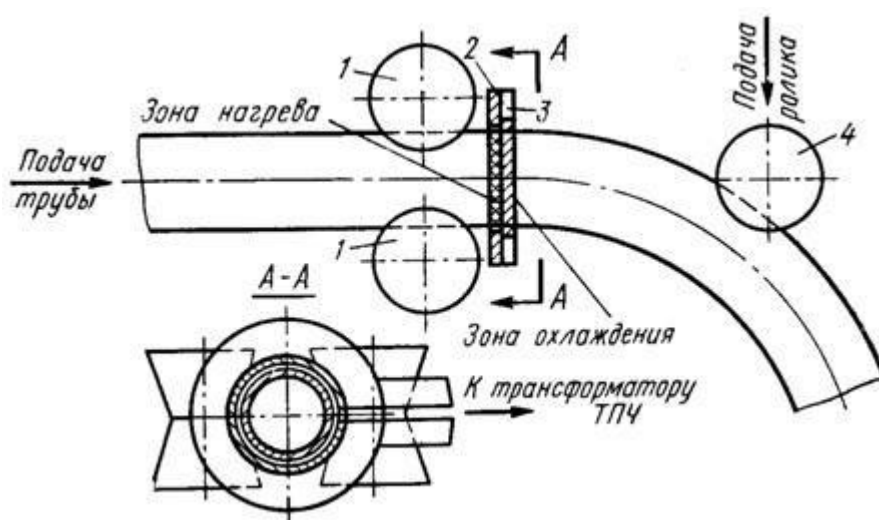


Рисунок 8 – Гибка труб с индукционным подогревом

1-направляющий ролик, 2-кольцевой индуктор, 3-кольцевой спрейер,  
4-гибочный ролик

Этот способ гибки является одним из наиболее совершенных способов.

На трубу, подаваемую направляющими роликами 1, узкий участок трубы нагревается с помощью кольцевого индуктора 2 токами высокой частоты и изгибается с помощью прижимного гибочного ролика 4 (см. рисунок 8). В этом случае нагретая область пластически деформируется, в то время как близлежащие холодные зоны с относительно низкой пластичностью препятствуют образованию

овальности. Для поддержания минимальной ширины нагреваемой зоны труба на выходе из индуктора интенсивно охлаждается водой с помощью кольцевого распылителя 3. Процесс гибки состоит из нескольких этапов: перемещение трубы под прижимным роликом.; подача прижимного ролика к трубе (начало изгиба); взаимное перемещение трубы и прижимного ролика (труба движется в продольном направлении, а прижимной ролик – в поперечном) и изгиб при неподвижном ролике и при перемещении только трубы [14].

При достижении заданного угла изгиба механизм подачи останавливается, и процесс изгиба прекращается. Радиус изгиба зависит от конечного положения прижимного ролика и устанавливается соответствующей настройкой оборудования. Угол изгиба зависит от величины выдвижения трубы [14].

Процесс гибки с нагревом ТВЧ эффективен при изготовлении трубных элементов с различными радиусами изгиба и в различных плоскостях и применяется в единичном и мелкосерийном производстве. Метод характеризуется меньшим истончением стенки и меньшей овальностью трубы, чем при других методах гибки.

Гибка труб на трубогибочных машинах любой конструкции осуществляется с использованием гибочного оборудования: гибочного шаблона (гибочной головки), зажимного устройства, направляющего желоба или роликов, гибочных и калибровочных роликов, оправки. Гибочный шаблон, зажим, ролики и желоб имеют профилированный желоб, равный диаметру изгибаемой трубы.

Гибка может быть выполнена разметкой или упором, установленным на станине станка. В случае изгиба согласно разметке на трубе, мел наносится на риски, соответствующие местам изгиба и прямолинейным участкам. При маркировке длина гнутого участка регулируется с учетом вытяжки трубы при изгибе. Гибка на упоре предпочтительнее, так как исключается операция разметки трубы и связанные с ней ошибки; кроме того, повышается производительность труда [17].

При проектировании трубного криволинейного элемента учитывается просадка трубы в изгибе путем выбора большей, чем рассчитанная толщина стенки трубы (определяется нормами расчета прочности). На чертеже обычно указывается угол и радиус сгиба.

## **1.7 Сварка труб**

Основным видом сварки при изготовлении змеевиков водяного пароперегревателя труб является контактная сварка на специальных контактных сварочных аппаратах.

Метод контактной сварки наиболее эффективен в условиях массового производства аналогичных деталей.

Особенностью контактной сварки является отсутствие контроля качества сварных соединений существующими в настоящее время методами неразрушающего контроля.

Поэтому основным средством обеспечения высокого качества сварки является оснащение сварочных аппаратов регистрирующими устройствами, которые контролируют параметры сварки каждого стыка и обеспечивают постоянство параметров сварки. Для контроля качества сварки предусмотрена систематическая проверка экспресс-образцов [13].

Контактная сварка швов освоена для всех марок котельных сталей. Среди других видов сварки полуавтоматическая многослойная сварка под слоем флюса применяется для сварки пароводяных труб диаметром 133 мм, а также ручная сварка, которая применяется для сварки различных мелких деталей на змеевиках и трубах, развилки экранов. Иногда ручная сварка выполняется на стыках водосточных труб и паропроводов. Особым видом сварки является сварка шипов на экранных трубах [13].

Контактная сварка является одним из методов сварки давлением. Она осуществляется при локальном нагреве и сжатии за счет выделения тепла, возникшего в месте повышенного сопротивления при прохождении

электрического тока по цепи, в которую включены свариваемые детали. Контакт между этими частями создается в том месте, где они должны быть сварены между собой. Сопротивление контакта прохождению тока значительно больше, чем сопротивление сплошного металла. Это обстоятельство влечет за собой усиленное местное выделение теплоты на участке соприкосновения деталей, что как раз и необходимо для сварки, металл в зоне сварки нагревается до пластического состояния, и концы труб сжимаются под действием давления, прикладываемого на свариваемом участке [13].

Различают два вида стыков контактной сварки: сварку сопротивлением и сварку оплавлением.

При сварке сопротивлением детали вначале сжимают, а затем к ним подводят электрический ток и соединяемые концы труб нагревают до пластического состояния, после чего ток выключают и одновременно с этим производят осадку (в настоящее время этот вид сварки не применяется ввиду возможного брака стыков) [17].

Широко применяется стыковая сварка непрерывным оплавлением. В этом случае ток включают до соприкосновения труб. При очень слабом давлении вначале медленно, а затем быстрее трубы сближают. В момент их соприкосновения на свариваемых поверхностях в точках касания возникает интенсивное искрение, металл на торцах труб оплавляется. После этого трубы подвергают осадке [13].

Осадка разогретых концов свариваемых труб необходима для удаления из плоскости контакта разогретого наружного слоя уже окисленного воздухом металла и его окарины. При осадке в соприкосновение вступают глубинные разогретые, но неокисленные слои металла, поскольку к ним не было доступа воздуха. Окисленный металл выдавливается вовнутрь и наружу стыка, образуя грат. Осадок также необходим для того, чтобы вступили в действие молекулярные силы сцепления сварных концов труб. При соблюдении этих условий обеспечивается надежное соединение труб [17].

В связи с отсутствием неразрушающих методов контроля сварных швов, выполняемых контактной сваркой, возникает необходимость оснащения контактных сварочных аппаратов устройствами автоматического регулирования основных параметров сварочного процесса.

Перед началом сварки сварщик помещает медные губки, соответствующие диаметру свариваемых труб, в зажимы машины, а затем проверяет выравнивание зажимов. Эта операция выполняется с помощью управляющих роликов, которые зажимаются в челюстях машины [17].

Сварка начинается с укладки одной из свариваемых труб и зажима ее в челюстях машины. Трубка помещается в губку так, чтобы отход ее конца от губки составлял половину расстояния между зажимами. В другой зажим поместите вторую сварную трубу так, чтобы ее конец соприкасался с концом первой трубы. На одну из свариваемых деталей надевается наконечник, который подает кислородно-воздушную смесь во время продувки кислородом для удаления внутренней решетки, или наконечник воздушного шланга, с помощью которого шарик или снаряд приводится в движение для удаления внутренней решетки. При сварке прямых труб на этот конец наматывается пневматическая оправка для удаления внутренней решетки. На свободном конце другой свариваемой детали устанавливается искроуловитель или шаровая ловушка [17].

Внутреннюю грат в трубах можно снять несколькими способами. Наиболее распространенными методами являются снятие внутренней грата:

- пневматическим дорном;
- шаром;
- снарядом;
- воздушно-кислородной смесью.

В процессе контактной сварки внутренняя поверхность трубы в месте сварного стыка загрязняется брызгами металла, которые не поддаются удалению ни одним из способов удаления внутренней грата. Для уменьшения образования этих брызг перед сваркой в концы труб укладывают картонные кольца, которые

защищают внутреннюю поверхность труб. Ширина кольца примерно 20-30 мм. После сварки кольцо удаляется из трубы в процессе удаления внутреннего грата. Удаление грата кислородно-воздушной смесью основано на свойстве стали гореть в кислородной среде. При сварке труб из высоколегированных сталей внутренняя грат не удаляется кислородом, так как она не горит в кислороде [13].

Время очистки 1-1,5 секунд. Причем смесь подается через 0,2-0,3 секунды после осаждения. С более длительным интервалом времени температура грата может стать ниже температуры воспламенения стали, и грат не будет удален.

После продувки остается некоторое количество окалина, которая удаляется катанием шарика. Для любого количества соединений шарик запускается только один раз, после сварки последнего соединения. Этот шар также является контрольным шаром. Его диаметр составляет 0,8-0,86 мм. внутреннего размера трубы.

После обрезки панели необходимо обработать концы ее труб для сварки гладких элементов (ножек), соединяющих панель с коллекторами. Лучше всего для этой цели использовать угловые станки (у которых ось вращения рабочего органа перпендикулярна оси станка).

Для обработки концов панельных труб можно использовать специальные сверлильные или расточные станки. Во многих панелях стен котлоагрегата следует предусмотреть разводку труб для люков, амбразур, люков-лазов. Эта операция занимает очень много времени. Вся работа выполняется вручную.

## **1.8 Сборка змеевиков в пакеты**

После гидравлического испытания змеевики поступают на сборку в хомуты и стойки, т.к. на участок сборки блоков змеевики поступают в виде пакетов, которые объединяют в себе до четырех и более отдельных змеевиков [6].

Операция сборки в пакеты выполняется на полу цеха, сварка хомутов и стоек между собой производится вручную электродуговой сваркой (см. рисунок 9). Эта операция требует большой площади для раскладки змеевиков и постоянного наличия грузоподъемного механизма для подачи и уборки с рабочего места змеевиков [6].

На некоторых котельных заводах операцию сборки змеевиков в пакеты совмещают с операцией плазирования сваренных змеевиков. В этом случае гидравлическое испытание змеевиков происходит в пакетах, что вызывает дополнительные трудности при ремонте дефектных змеевиков, т.к. приходится вытаскивать змеевик из пакета для возможности его ремонта. В связи с этим совмещение операций плазирования и сборки в пакеты не всегда целесообразно.

Собранные в пакеты змеевики поступают на комплектовочный участок, где укладываются в соответствии с отправочной документацией.

#### Заключительные операции

Окраска трубных поверхностей нагрева чаще всего производится с помощью пульверизатора (см. рисунок 10). Трубы экрана, водо-пароперепускные трубы раскладываются в ряд на стеллаже высотой 500-700 мм. и окрашиваются с одной стороны. После этого переворачивают трубы другой стороной и выполняют окраску этой стороны. Такой метод окраски малопроизводителен и сильно загрязняет окружающее пространство [6].

Окраску экранных труб производят после сборки их в блоки, т.к. топочные блоки, как правило, представляют собой панельную конструкцию, и трубы могут быть достаточно эффективно покрашены в блоке. Кроме этого, при сборке топочных блоков имеет место большое количество сварочных работ на трубах, и если трубы поступили на сборку окрашенными, то необходимо удалить краску для обеспечения качественной сварки [6].

Наоборот, блоки водяного экономайзера и пароперегревателя из-за плотного расположения змеевиков трудно покрасить в собранном виде. Поэтому змеевики поступают на сборку в блоки уже окрашенными [6].

Механически обработанные поверхности труб и змеевиков сохраняются при транспортировке и хранении в процессе монтажа (см. рисунок 11).

Фаски на концах витков и труб подлежат консервации. После нанесения консервирующего слоя (технического вазелина) концы змеевиков и труб закрывают металлическими или пластиковыми заглушками, чтобы посторонние предметы не попали внутрь змеевика или трубы.

Маркировка рулонов и труб производится быстросохнущей несмываемой краской. Номер чертежа, номер котла или номер заказчика печатается на змеевике или трубе [6]. Упаковка рулонов осуществляется через деревянные прокладки, соединенные шпильками с гайками.

Если на пути к заказчику возникает много перегрузок, то катушка упаковывается в металлический контейнер, сваренный из профильного металла (см. рисунок 12). Маркировочная бирка с номером чертежа и номером котла прикрепляется к пакету или контейнеру змеевика [6].



## 1.9 Постановка цели и задач исследования

Основной целью данной дипломной работы является определение причин появления трещин в месте сгибания трубы размером 28x3 мм. сталь 20. Поскольку данная труба поставляется прямо с завода-изготовителя и проходит на нём контроль качества, а также проходит входной контроль на предприятии - получателе.

Для достижение поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести химический анализ марки стали трубы 28x3 мм. используемой для изготовления змеевиков водяного пароперегревателя.
- Проанализировать технические условия изготовления змеевиков водяного пароперегревателя из трубы 28x3 мм. сталь 20.
- Провести металлографическое исследование дефекта на месте сгибания трубы 28x3 мм. сталь 20.
- Разработать предложение по внедрению дополнительных мер контроля поставляемой продукции.

## 2 Материал и методики исследований

В работе проводилось исследование трубы размером 28x3 мм., изготовленной из стали 20, труба соответствует ТУ 14-3Р-55-2001, химический состав соответствует ГОСТ 1050 – 88 (см. таблицу 2) [7-8].

Таблица 2 Химический состав стали, масс. %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,17 – 0,24	0,17 – 0,37	0,35 – 0,65	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,3	до 0,08

Химический анализ трубы размером 28x3 мм., изготовленной из стали 20 проводился методом спектрального анализа с помощью рентгенофлуорисцентного анализатора металлов (спектрометр) Olympus Delta Element (см. рисунок 13).

Подготовка поверхности для спектрального анализа проводилась с помощью универсального инструмента Dremel 8220 (см. рисунок 14)

Техническое условие изготовления змеевиков водяного пароперегревателя проводилось с помощью визуально измерительного метода и использованием поверенного измерительного инструмента:

1. рулетка
2. штангенциркуль
3. угломер

Металлографические исследования проводились на оптическом металлографическом микроскопе Axio Observer D1.m (см. рисунок 15). Также использовались:

1. Настольный отрезной станок Delta™ AbrasiMet® Abrasive Cutter (см. рисунок 16) с ручной подачей абразивного отрезного круга сверху.

2. Автоматический станок для горячей запрессовки Buehler SimpliMet 1000 (см. рисунок 17), компаунды для горячей запрессовки PhenoCure (см. рисунок 18) - фенольная термопластичная смола с древесным наполнителем, хорошо фиксирует

край и дает умеренную усадку.

3. Шлифовально-полировальный станок EcoMet® 250 (см. рисунок19) с полуавтоматической насадкой AutoMet® 250 и шкурки зернистостью - P120,P320,P600,P1200, ткань для полировки, алмазной суспензии MetaDi для тонкой полировки образцов.

4. Травление образцов проводилось 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте [5].

### **3 Исследовательская часть**

Проведилось исследование двух образцов трубы диаметром 28 мм, толщиной стенки 3 мм, из стали 20.

Общий вид исследуемых образцов приведён на рисунке 20  
Маркировка образцов:

1. Шлиф №1(см. рисунок 21)
  - 1.1 Поперечный шлиф, годный
  - 1.2 Продольный годный
2. Шлиф №2 (см. рисунок 21)
  - 2.1 Поперечный шлиф, бракованный
  - 2.2 Продольный бракованный
  - 2.3 Продольный шлиф с места разрушения

### 3.1 Химический анализ трубы 28x3 мм., сталь 20

Химический анализ проводился на отбракованной трубе 28x3 мм., сталь 20 спектрометром Olympus Delta Element вблизи деформированного участка (см.рис.). Поверхность трубы для проведения химического анализа была зачищена до зеркального блеска универсальным инструментом Dremel 8220. Чистая поверхность трубы позволяет более точно определить марку стали.

Проведя химически анализ трубы 28x3 мм., сталь 20 (см. рисунок 22), было установлено что химический состав соответствует ГОСТ 1050 – 88 (см. таблицу б).

Таблица 3 Содержание химических элементов в стали 20 по ГОСТ 1050 – 88, масс. % [16]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,17 – 0,24	0,17 – 0,37	0,35 – 0,65	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,3	до 0,08

### **3.2 Технический условия изготовления змеевиков водяного пароперегревателя из трубы 28х3 мм., сталь 20**

Анализ технический условия изготовления змеевиков водяного пароперегревателя из трубы 28х3 мм., сталь 20, проводился с помощью визуально измерительного метода. На каждой стадии изготовления змеевика проводился промежуточный контроль и сравнение результатов с чертежами предоставленными заказчиком и технологической картой.

В ходе анализа технический условия изготовления змеевиков водяного пароперегревателя из трубы 28х3 мм., сталь 20, не было выявлено отклонений от технических условия заданных заказчиком что в свою очередь не может привести к браку змеевиков водяного пароперегревателя.

### **3.3 Оценка неметаллических включений**

Металл образца загрязнён мелкими точечными неметаллическими включениями, количество точечных оксидов и сульфидов соответствует 3 баллу по ГОСТ 1778-80, но размер соответствует 1-2 мкм (см. рисунок 23) [10]. Однако у выпуклой поверхности трубы обнаружены строчечные неметаллические включения по которым развиваются поверхностные трещины (см. рисунок 24,25,26).

#### **Образец 2.2**

Также как и в образце 2.1. Металл имеет большое количество мелких неметаллических включений, количество точечных оксидов и сульфидов соответствует 1 баллу по ГОСТ 1778-80[10].

Трещин на наружной поверхности не обнаружено но имеется единичный дефект который можно классифицировать как закат (см. рисунок 27).

#### **Образец 2.3**

Количество неметаллических включений достигает 3 балла но размер не превышает 3-5 мкм. (см. рисунок 28).

Количество неметаллических включений у поверхности разрушения достигает 4-5 балла (см. рисунок 29).

## **Образец 1.2**

Неметаллические включения в образце по количеству соответствуют 2 баллу но размер их достигает 10-12 мкм. (см.рисунок 30) [10].

## **Образец 1.1**

Неметаллические включения в образце по количеству соответствуют 2 баллу но размер их достигает 1-2 мкм. (см. рисунок 31). На поверхности годного образца дефектов не обнаружено[10].

Исследование образцов после травления.

## **Образец 1.2**

Микроструктура металла образца ферритно – перлитная (см. рисунок 32). Полосчатость структуры соответствует 2-3 баллу по ГОСТ 5640-68[11]. Балл зерна соответствует 9-9,5 баллу по ГОСТ 5639-82, доля перлита в структуре не более 10%. На внешних поверхностях обнаружен обезуглероженный слой глубиной порядка 200 мкм (см. рисунок 33) [12].

## **Образец 1.1**

Микроструктура металла образца ферритно – перлитная (см. рисунок 34). Полосчатость отсутствует, балл зерна 9,5.

## **Образец 2.1**

Микроструктура образца феррито – перлитная (см. рисунок 35). Балл зерна соответствует 9 по ГОСТ 5639-82, доля перлита в структуре не более 15 %. На наружной поверхности имеется обезуглероженный слой (см. рисунок 36) [12].

На рисунке 35а видно что поверхностные микро трещины обнаруженные на не травленном шлифе располагаются по границам ферритных зёрен в обезуглероженном слое.

## **Образец 2.2**

Микроструктура образца феррито – перлитная (см. рисунок 37). Полосчатость структуры соответствует 5 баллу по ГОСТ 5640-68, балл зерна соответствует 9 баллу по ГОСТ 5639-82[11-12].

## **Образец 2.3**

Микроструктура образца феррито – перлитная (см. рисунок 38). Полосчатость структуры соответствует 4 баллу по ГОСТ 5640-68, балл зерна соответствует 9 баллу по ГОСТ 5639-82[11-12]. На обеих наружных поверхностях имеется обезуглероженный слой глубиной до 50 мкм. (см. рисунок 39). У поверхности разрушения металл деформирован но не обезуглерожен.



### 3.4 Выводы по работе

Сравнительный анализ материала годной и не годной трубы показал следующее:

1. Металл обоих образцов загрязнён неметаллическими включениями, но отличаются по их размеру и количеству. В годном образце имеется относительно небольшое количество крупных включений соответствующих 2 баллу но размер их достигает 1-2 мкм., а в не годном присутствует большое количество мелких включений 3 баллу но размер не превышает 3-5 мкм.

2. Годный образец металла труб не имеет трещин тогда как в не годном образце имеются трещины на внешней, наружной поверхности проходящие по границам ферритных зёрен.

3. Структура обоих образцов ферритно-перлитная балл зерна 9-9,5 по ГОСТ 5639 - 82. Доля перлита в годном составляет 10%, а в не годном 15% [12].

4. Обезуглероженный слой присутствует в обоих случаях но в годном образце его глубина достигает 200-240 мкм., а в случае не годной трубы до 150 мкм.

5. Негодный образец имеет более высокий балл полосчатости.

6. Химический состав годного и не годного образца идентичен.

Таким образом, наиболее вероятной причиной разрушения труб в процессе изготовления змеевиком является низкое качество металла, а именно наличие строчечных не металлических включений у поверхности, наличие обезуглероженного слоя и грубая полосчатость.

#### **4 Рекомендации по уменьшению брака при входном контроле металлопроката.**

Проведя дополнительный анализ дефекта трубы размером 28x3 мм., изготовленной из стали 20, стало понятно что необходимо ввести дополнительные методы не разрушающего контроля для закупаемого металло проката.

Одним из таких методов является металлографическое исследование металлов. Эффективность данного метода наглядно доказана данной дипломной работой, поэтому мной было предложено закупить оборудование для металлографического исследование металлов, что позволить на стадии входного контроля отбраковать не качественный металлопрокат. а также значительно сократить количество брака в изготавливаемых деталях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрена проблема образования брака на трубах 28x3 мм., сталь 20 применяемых для изготовления змеевиков водяного пароперегревателя.

Произведён анализ технических условий, химический анализ и металлографическое исследование. Сделано предложение для входного контроля которое в долгосрочной перспективе позволит избежать закуп некачественного металла проката а также устранить брак в готовой продукции. Описание основного, дополнительного и вспомогательного оборудования.

В работе произведено: описание технологии производства змеевиков водяного пароперегревателя, анализ технических условий, химический анализ и металлографическое исследование.

Результаты исследования показали, что причиной разрушения труб, используемых при изготовлении змеевиков, являются грубые строчечные неметаллические включения.

Также внесено предложение по улучшению контроля качества трубы 28x3 мм., сталь 20 и закупа металлопроката в целом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов М.А. Материаловедение / Учебное пособие / Часть 1 / М.А. Смирнов, К.Ю. Окишев, Х.М. Ибрагимов, Ю.Д. Корягин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 139 с.
3. Воскобойников В.Г. Общая металлургия / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. – М.: Металлургия, 2000. – 768с.
4. Сорокина В.Г. Марочник сталей и сплавов/ под ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. -640с.
5. Беккерт, М. Способы металлографического травления: справочник / М. Беккерт, Х. Клемм. – М.: Металлургия, 1988. – 398с.
6. СТО ЦКТИ 10.002-2007 Элементы трубные поверхностей нагрева, трубы соединительные в пределах котла и коллекторы стационарных котлов. Общие технические требования к изготовлению (с Изменениями N 1-5)
7. ГОСТ 1050-88 Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2)
8. ТУ 14-3Р-55-2001 Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов
9. Механические свойства металлов/Учебник для вузов/В.С. Золотеревский – М.: Металлургия, 1983-352с.
10. ГОСТ 1778-80 Межгосударственный стандарт. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. Введён 01.01.1972 – М.: Издательство стандартов, 2011 – 32 с.
11. ГОСТ 5640-68 Межгосударственный стандарт. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты. Введён 01.01.1970 – М.: Издательство стандартов, 1988 – 18 с.
12. ГОСТ 5639-82 Межгосударственный стандарт. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. Введён 01.01.1983 – М.: Издательство стандартов, 2003 – 21 с.

13. <http://www.rosteplo.ru> – электронная библиотека теплоснабжения.
14. <https://ngpedia.ru/> – электронная библиотека теплоэнергетика.
15. <https://ru.wikipedia.org> – электронная библиотека википедия.
16. ГОСТ 1050-88 Межгосударственный стандарт. Общие технические условия. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Введён 01.01.1991 – М.: Издательство стандартов, 1996 – 18 с.
17. <https://all4study.ru/> – образовательный блог – всё для учёбы.
18. <https://studfile.net/> – файловый архив для студентов.