



федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный  
морской технический университет»**

**СОГЛАСОВАНО**

Представитель руководства по качеству

Е.Р. Счисляева

«20» 07 2023



**УТВЕРЖДАЮ**

Ректор СПбГМТУ

Г.А. Туричин

20.07.2023

## **СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**

---

**СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА**

**СТО 02066380-001-2019**

**Крепление труб в трубных решетках  
теплообменных аппаратов.  
Общие технические требования**

**Версия 03**

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 2 из 30

## Предисловие

- 1 Разработано старшим научным сотрудником Санниковым В.П., ведущим инженером Ефремовым А.К. и ведущим инженером Санниковым А.В.
- 2 Внесено руководителем НПУТЦ заместителем руководителя НИЧ Кузнецовым И.Л.
- 3 Введено в действие Приказом от 10. 04. 2023 г. № 476

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 3 из 30

## Содержание

	Стр.
1 Введение	4
2 Область применения	5
3 Термины, определения и обозначения	5
4 Требования к трубам, трубным решеткам, инструменту и оборудованию	6
4.1 Трубы	6
4.2 Трубные решетки	7
4.3 Вальцовки	9
4.4 Вальцовочные машины	10
5 Виды соединений труб с трубными решетками	10
5.1 Вальцованные соединения	10
5.2 Комбинированные соединения	12
5.3 Обозначение видов соединений	16
5.4 Выбор вида соединения	16
6 Технологический процесс крепления труб в трубных решетках	17
6.1 Настройка вальцовочной машины	17
6.2 Крепление труб развалцовкой	20
6.3 Крепление труб комбинированным способом	22
7 Особенности крепления труб в аппаратах воздушного охлаждения	23
8 Особенности крепления труб в аппаратах с двойными трубными решетками	25
9 Особенности крепления труб в толстых трубных решетках	26
10 Контроль качества крепления труб	28
11 Лист согласования	30

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 4 из 30

## 1 Введение

Настоящий стандарт разработан на основе изучения действующих на территории Российской Федерации следующих стандартов и других нормативных документов, регламентирующих проектирование, изготовление и ремонт теплообменных аппаратов различных типов и назначения:

ГОСТ 2.103 – 2013 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки»;

ГОСТ 12.1.007 – 76 «Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»;

ГОСТ 31842-2012 (ISO 16812:2007). Межгосударственный стандарт. Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования;

ГОСТ 2789 – 73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики»;

ГОСТ ISO 13706 – 2011 «Аппараты с воздушным охлаждением. Общие технические требования»;

ГОСТ Р 51364 – 99 «Аппараты воздушного охлаждения. Общие технические условия»;

ГОСТ Р 54384– 2011 «Сталь. Определение и классификация по химическому составу и классам качества»;

ГОСТ 9940 – 81 «Трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионно – стойкой стали. Технические условия»;

ГОСТ 8734 – 75 «Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные. Сортамент»;

ГОСТ 550 – 75 «Трубы стальные бесшовные для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, технические условия»;

ГОСТ 18475 – 82 «Трубы холоднодеформированные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия»;

ГОСТ 494 – 2014 «Трубы латунные. Технические условия»;

ГОСТ 25347 – 2013 (ISO 286-2:2010) «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов»;

ГОСТ 34347 – 2017 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия»;

ОСТ 26.260.14 – 2001. «Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Способы контроля герметичности».

При разработке стандарта был также учтен опыт отечественных и зарубежных предприятий и организаций, изготавливающих вальцовочное оборудование и инструмент для закрепления труб в трубных решетках.

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 5 из 30

## 2 Область применения

Стандарт применим к следующим типам кожухотрубчатых теплообменных аппаратов: теплообменникам, конденсаторам, холодильникам, испарителям и к аппаратам воздушного охлаждения.

Стандарт устанавливает требования к технологии крепления труб в трубных решетках развалицовкой, сваркой и развалицовкой, а также к развалицовочному инструменту и оборудованию на стадиях проектирования, изготовления и ремонта теплообменных аппаратов, работающих в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, газовой, и других смежных отраслях промышленности при температурах от минус 70°C до плюс 450°C и рабочих давлениях до 25 МПа.

Стандарт не распространяется на соединения, полученные импульсными методами, методами гидравлической раздачи, а также kleевые, паяные и иные соединения.

Стандарт предназначен для технологов, конструкторов, мастеров производства и других специалистов, связанных с креплением труб в трубных решетках.

## 3 Термины, определения и обозначения

В Настоящем стандарте используются следующие термины с соответствующими определениями:

**Теплообменный аппарат:** устройство, предназначенное для обмена теплотой между греющей и обогреваемой рабочими средами (теплоносителями).

**Теплообменный аппарат с двумя неподвижно закрепленными трубными решетками:** теплообменный аппарат, трубные решетки которого неподвижно прикреплены к корпусу.

**Теплообменный аппарат с плавающей головкой:** теплообменный аппарат с извлекаемым трубным пучком, одна трубная решетка которого неподвижно связана с корпусом, а вторая имеет возможность свободного осевого перемещения вдоль оси корпуса.

**Теплообменный аппарат с U-образными трубами:** теплообменный аппарат с одной трубной решеткой, в которой крепятся концы U-образных труб.

**Змеевиковый теплообменный аппарат:** аппарат, в котором теплообменная поверхность выполнена из труб в виде объемного или плоского змеевика.

**Рециркуляционная охлаждающая установка:** установка, состоящая из воздухоохладителя, сепаратора, конфузора и вентилятора, закрепленных на общей раме, и предназначенная для поддержания температуры и влажности воздуха в производственных и административных помещениях атомных электростанций.

**Трубная решетка:** элемент теплообменного аппарата, предназначенный для крепления теплообменных труб и разделения теплообменных сред.

**Промежуточная перегородка:** перегородка трубного пучка, предназначенная для распределения движения потока среды в межтрубном пространстве.

**Аппарат воздушного охлаждения (АВО):** теплообменный аппарат, в котором охлаждение теплоносителя осуществляется потоком воздуха, создаваемого вентилятором.

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 6 из 30

**Герметичность соединения «труба – трубная решетка»:** способность соединения выдерживать давление теплоносителя без протечек.

**Прочность соединения «труба – трубная решетка»:** способность соединения выдерживать осевые усилия, возникающие в процессе работы аппарата, без относительного осевого смещения трубы и трубной решетки.

**Вальцовка:** инструмент, предназначенный для радиального деформирования трубы в отверстии трубной решетки.

**Канавочник:** инструмент, предназначенный для нарезания уплотнительных канавок в отверстиях трубной решетки.

**Шариковый раскатник:** инструмент, предназначенный для накатки в отверстиях трубной решетки уплотнительного кольцевого рельефа (канавок и выступов).

**Проектная конструкторская документация:** конструкторская документация, выполненная на стадиях технического предложения, эскизного и технического проектов.

В настоящем стандарте используются следующие обозначения:

$D_0$  – диаметр отверстия в трубной решетке, мм;

$d_H$  – наружный диаметр трубы, мм;

$d_e$  – внутренний диаметр трубы до развалцовки, мм;

$d'_e$  – внутренний диаметр трубы после развалцовки, мм;

$K$  – утонение стенки трубы, %;

$S$  – толщина стенки трубы, мм;

$H$  – толщина трубной решетки, мм;

$\Delta$  – диаметральный зазор между диаметром отверстия в трубной решетке и наружным диаметром трубы до развалцовки,  $\Delta = D_0 - d_H$ , мм;

$L$  – расстояние между уплотнительными канавками в отверстии трубной решетки, мм;

$R$  – радиус шарика, формирующего уплотнительную канавку в отверстии трубной решетки, мм;

$t$  – шаг размещения отверстий в трубной решетке, мм;

$m$  – ширина перемычки между отверстиями в трубной решетке, мм;

$A$  – величина заглубления конца трубы в трубную решетку, мм.

## 4 Требования к трубам, трубным решеткам, инструменту и оборудованию

### 4.1 Трубы

4.1.1 Механические свойства материалов труб, а также величины предельных отклонений их размеров от номинальных значений должны соответствовать техническим требованиям, изложенным в соответствующих стандартах или технических условиях на поставку труб.

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 7 из 30

При выборе труб необходимо также учитывать требование, согласно которому предел текучести материала труб не должен быть больше предела текучести материала трубных решеток.

4.1.2 Все теплообменные трубы должны иметь сертификат о проведении испытаний на герметичность на заводе-изготовителе.

4.1.3 Все трубы, включая U – образные, не должны иметь поперечных сварных швов.

4.1.4 Наружные поверхности концов труб из нелегированных или низколегированных сталей должны быть зачищены до чистого металла на длине, равной толщине трубной решетки плюс 20 мм.

Для аппаратов воздушного охлаждения допускается уменьшать длину зачистки до чистого металла до величины, равной толщине трубной решетки плюс 10 мм.

Параметры шероховатости Ra (Rz) (ГОСТ 2789) поверхностей зачищенных концов труб не должны превышать Ra 6,3 (Rz40).

4.1.5 На поверхности концов труб, предназначенных под вальцовку, не должно быть видимых следов ржавчины, продольных или винтовых рисок.

4.1.6 Подготовка труб для аппаратов воздушного охлаждения по ГОСТ Р 51364.

## 4.2 Трубные решетки

4.2.1 Механические свойства материала трубной решетки должны соответствовать техническим требованиям, изложенным в соответствующих стандартах или технических условиях на поставку.

Предел текучести материала трубной решетки должен быть не меньше предела текучести материала закрепляемых в ней труб.

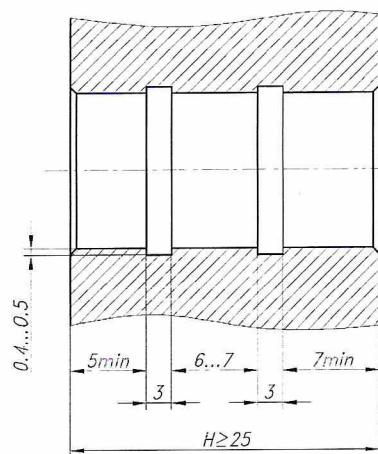
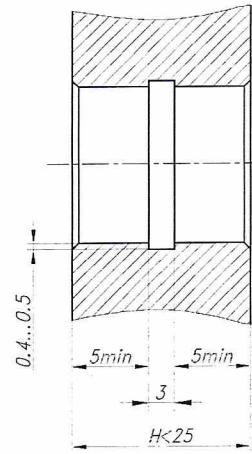
4.2.2 Шероховатость лицевой поверхности трубной решетки не должна превышать Ra 12,5 (Rz 80), а шероховатость поверхностей отверстий в трубной решетке для крепления труб не должна превышать Ra 6,3 (Rz 40).

Острые кромки отверстий в трубных решетках и перегородках трубных пучков должны быть притуплены фаской размером 0,5-3 мм (ГОСТ 31842), если иное не предусмотрено проектной конструкторской документацией.

4.2.3 В отверстиях трубной решетки не должно быть видимых следов ржавчины, продольных или винтовых рисок, выходящих на ее лицевую поверхность.

4.2.4 Для повышения герметичности и прочности вальцовых соединений в отверстиях трубных решеток могут быть нарезаны уплотнительные канавки или накатан уплотнительный кольцевой рельеф.

4.2.4.1. Вид и размеры уплотнительных канавок в зависимости от толщины трубной решетки Н представлены на рисунках 1а и 1б.

Рисунок 1а – Уплотнительные канавки в трубной решетке толщиной  $H \geq 25$  ммРисунок 1б – Уплотнительная канавка в трубной решетке толщиной  $H < 25$  мм

4.2.4.2 Уплотнительный кольцевой рельеф (рисунок 2а) формируется в отверстиях при помощи двухрядного шарикового раскатника, установленного в шпиндель станка или в ручной пневмо – или электропривод.

В технически обоснованных случаях допускается применение уплотнительного кольцевого рельефа, выполненного однорядным шариковым раскатником (рисунок 2б).

Размеры  $R$  и  $L$ , указанные на рисунках 2а и 2б, обеспечиваются инструментом – шариковым раскатником.

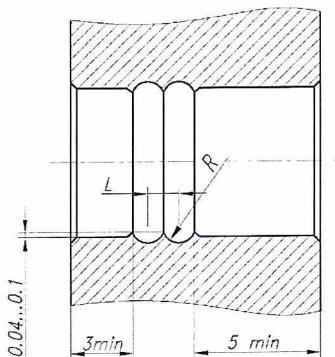


Рисунок 2а – Двухрядный уплотнительный кольцевой рельеф

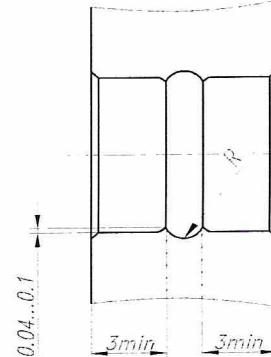


Рисунок 2б – Однорядный уплотнительный кольцевой рельеф

4.2.4.3 В случае плакированной (наплавленной) трубной решетки, толщина плакированного слоя при нарезании уплотнительных канавок или формировании кольцевого уплотнительного рельефа не учитывается.

4.2.5 Номинальный (без учёта предельных отклонений) диаметр отверстий в трубных решетках  $D_0$  рассчитывается как сумма двух составляющих:

$$D_o = d_H^{\max} + \Delta^{\min},$$

Где: –  $d_H^{\max}$  – максимальный наружный диаметр трубы в соответствии с нормативной документацией;

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 9 из 30

–  $\Delta^{\min}$  – минимальный зазор между наружным диаметром трубы и диаметром отверстия, обеспечивающий собираемость трубы с трубной решеткой.

Для гладких отверстий и отверстий с уплотнительными канавками  $\Delta^{\min} = 0,05$  мм.

Для отверстий с уплотнительным кольцевым рельефом  $\Delta^{\min} = 0,25$  мм.

Предельные отклонения размера  $D_0$  при изготовлении трубной решетки – по Н11; при проведении ремонтных работ – по Н14.

4.2.6 Минимальный шаг размещения отверстий в трубной решетке  $t^{\min}$  для аппаратов с гладкими трубами должен быть  $t^{\min} \geq 1,25d_H$  (ГОСТ 31842), где  $d_H$  – номинальный наружный диаметр трубы.

Для труб с номинальными наружными диаметрами  $d_H < 16$  мм, закрепляемых только развалцовкой, допускается уменьшение межосевого расстояния до  $t^{\min} = 1,2d_H$ .

Для аппаратов воздушного охлаждения с оребренными трубами шаг размещения отверстий в трубной решетке определяется тепловым расчётом с учетом назначения аппарата и условий его эксплуатации и должен быть не меньше диаметра оребрения трубы.

4.2.7 Ширина перемычки между отверстиями в трубной решетке  $m$ , определяется как разность между минимальным шагом размещения отверстий и номинальным диаметром отверстия:  $m = t^{\min} - D_o$ .

При этом минимальный предельный размер перемычки в зависимости от толщины трубной решетки должен быть не менее указанного в ГОСТ 31842.

4.2.8 Минимальная толщина трубной решетки  $H^{\min}$  для вальцованных соединений определяется, исходя из следующих условий:

а) толщина трубной решетки должна быть не меньше наружного диаметра трубы,  $H^{\min} \geq d_H$ ;

б) толщина трубной решетки из нелегированных сталей (ГОСТ Р 54384), а также из цветных сплавов, должна быть не менее 20 мм,  $H^{\min} \geq 20$  мм;

в) толщина трубной решетки из нержавеющих и других легированных сталей должна быть не менее 15 мм,  $H^{\min} \geq 15$  мм.

По согласованию с заказчиком допускается изготавливать трубные решетки толщиной  $H^{\min} = 0,75d_H$ , при выполнении условий по пп 4.2.8 б) и в).

### 4.3 Вальцовки

Для развалцовки концов труб в трубных решетках следует применять самозатягивающиеся трех – или пятироликовые вальцовки.

Пятироликовые вальцовки применяются для крепления труб, у которых отношение номинальных наружного диаметра к внутреннему менее 1,1:  $d_H / d_B < 1,1$ .

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 10 из 30

Выбор вальцовки зависит от поставленной задачи и в каждом конкретном случае определяется технологической инструкцией на изготовление соединений.

В процессе работы вальцовки должны периодически очищаться, смазываться и охлаждаться в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

При обнаружении на рабочих поверхностях роликов и веретен вальцовок видимых следов износа или выкрашивания металла рекомендуется заменить на новые все роли и веретено.

#### 4.4 Вальцовые машины

Вальцовые машины (приводы) должны отвечать двум основным требованиям:

- машины должны быть реверсивными, чтобы иметь возможность путем обратного вращения вывести веретено вальцовки из зацепления с роликами и извлечь вальцовку из трубы;

- машины должны быть снабжены устройством, позволяющим в автоматическом режиме останавливать вращение веретена вальцовки, когда величина крутящего момента на веретене достигнет заранее установленного значения.

Погрешность срабатывания устройства, ограничивающего величину крутящего момента привода, не должна превышать 5% от максимальной величины крутящего момента, развивающегося приводом.

Вальцовые машины могут быть ручными или стационарными, пневматическими или электрическими и должны быть сертифицированы согласно требованиям соответствующих технических регламентов.

Ручные машины рекомендуется применять в тех случаях, когда требуется закрепить сравнительно небольшое количество труб (несколько сотен), или при частичной замене труб в процессе ремонта аппарата.

Стационарные машины рекомендуется применять тогда, когда количество закрепляемых труб достигает нескольких тысяч.

Выбор той или иной машины определяется условиями производства и поставленной задачей по развальцовке труб.

### 5 Виды соединений труб с трубными решетками

Следует применять два вида соединений труб с трубными решетками: вальцовые и комбинированные.

Соединения, выполненные только сваркой, не допускаются (ГОСТ 31842).

#### 5.1 Вальцовые соединения

Вальцовые соединения образуются в результате радиальной упруго-пластической деформации труб роликовыми вальцовками в отверстиях трубных решеток и/или промежуточных перегородок. При этом развальцованный участок трубы в трубной решетке должен заканчиваться за 2...5 мм до внутренней поверхности трубной решетки (рисунок 3).

 <b>СПбГМТУ</b> Научно-производственный учебный технический центр	<b>СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»</b> СТО 02066380-001-2019 Версия 03	стр. 11 из 30
---	---	---------------

В том случае, когда толщина трубной решетки близка к минимальной (см. п. 4.2.8), по согласованию с заказчиком допускается развальцовка трубы с выходом развальцованных участков за внутреннюю поверхность трубной решетки при условии, что на внутренних кромках отверстий решетки выполнено скругление радиусом  $r = 1 \dots 3$  мм, (рисунок 4).



Рисунок 3 – Глубина развальцовки

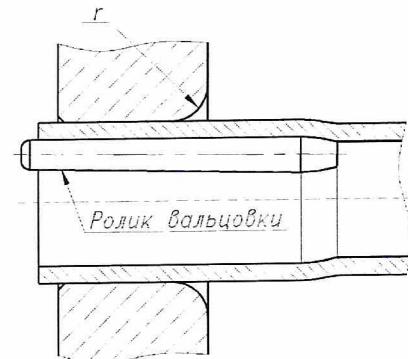


Рисунок 4 – Глубина развальцовки в тонкой трубной решетке

Величина выступания концов труб над трубной решеткой определяется требованиями проектной конструкторской документации. В случае, если в проектной конструкторской документации эта величина не определена, её следует принимать в интервале  $0 \dots 5$  мм (рисунок 3).

В вертикальных теплообменниках с целью улучшения условий для дренажа теплоносителя концы труб могут устанавливаться заподлицо с верхней трубной решеткой или могут быть заглублены в нее на глубину  $A \leq 0,3d_H$  (рисунок 5).

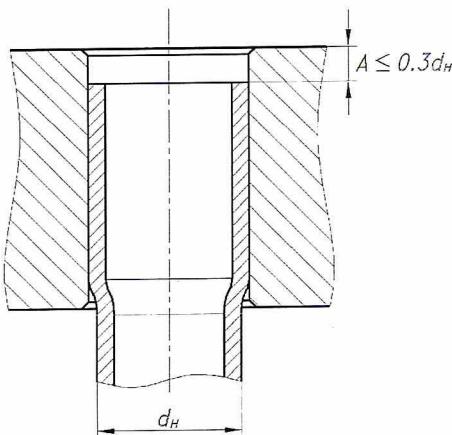
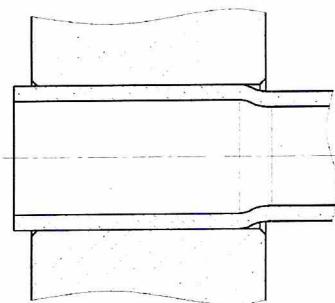


Рисунок 5 – Труба, заглубленная в отверстие трубной решетки

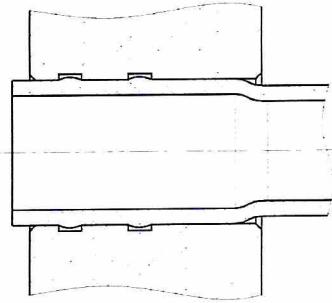
При этом из нижней трубной решетки трубы могут выступать на длину до двух номинальных наружных диаметров трубы.

Наиболее распространенные виды вальцовых соединений В1 – В4 представлены на рисунке 6.

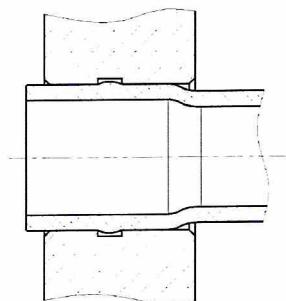
	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 12 из 30



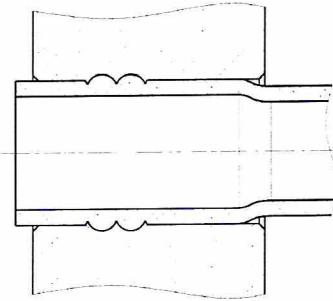
B1 – гладкое соединение



B2 – соединение с двумя  
уплотнительными канавками



B3 – соединение с одной  
уплотнительной канавкой



B4 – соединение с уплотнительным  
кольцевым рельефом

Рисунок 6 – Виды вальцованных соединений

## 5.2 Комбинированные соединения

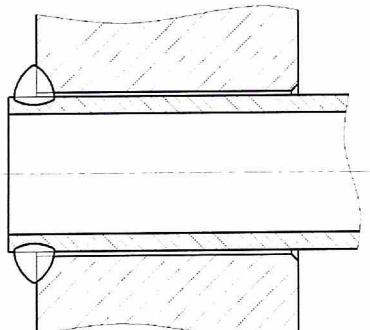
Комбинированные соединения образуются в результате сварки концов труб с трубной решеткой и последующей развалицовки труб в отверстиях решетки.

Сварка труб с трубными решетками допускается в тех случаях, когда материалы трубы и решетки (или ее покрытия) пригодны для сварки.

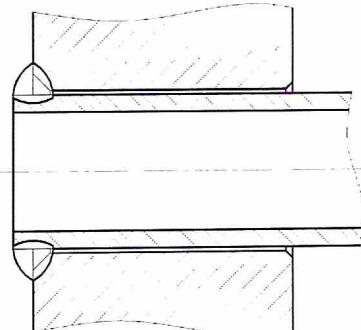
Допускается применение всех видов промышленной сварки за исключением газовой. Сварку следует производить плавящимся или неплавящимся электродом в среде защитных газов на вертикальной или горизонтальной плоскости, являющейся предпочтительной.

В технически обоснованных случаях допускается сварка труб с трубной решеткой ручной дуговой сваркой покрытым электродом.

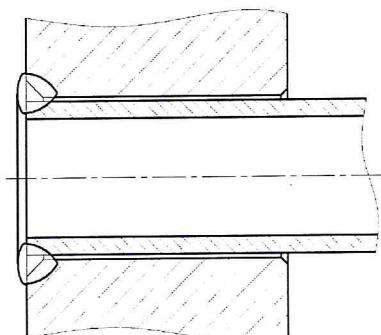
Наиболее распространенные виды сварных швов, применяемых для соединения труб с трубными решетками, представлены на рисунке 7. При этом размеры швов, виды и размеры разделок кромок выполняются в соответствии с требованиями проектной конструкторской документации.



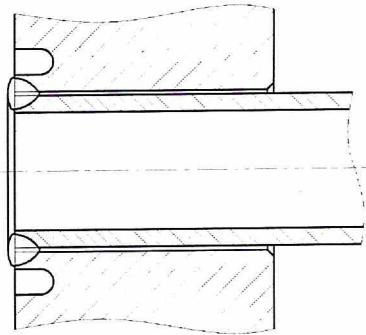
Угловой шов без разделки кромок трубной решетки



Угловой шов с разделкой кромок трубной решетки



Стыковой шов



Стыковой шов с разгрузочной канавкой

Рисунок 7 – Виды сварных швов

Требования к сварным соединениям и сварочным материалам должны соответствовать ГОСТ 34347.

Для центровки труб в отверстиях решетки перед сваркой рекомендуется развалицовывать концы труб конической вальцовкой (рисунок 8а), либо цилиндрической вальцовкой на глубину 3...10 мм, считая от лицевой поверхности трубной решетки (рисунок 8б), с минимальным натягом так, чтобы трубы касались решетки без деформирования кромок отверстий.

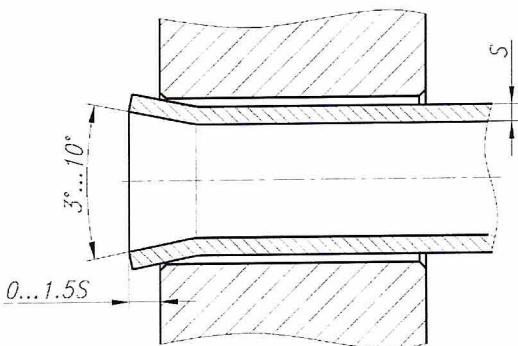


Рисунок 8а – Развальцовка труб конической вальцовкой перед сваркой

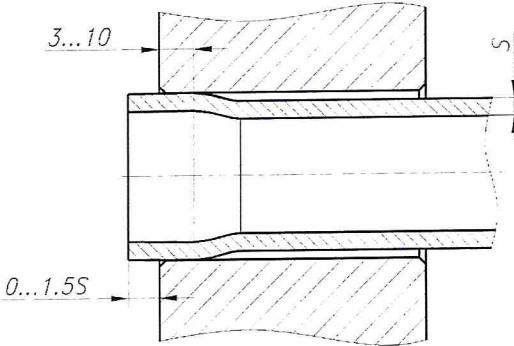


Рисунок 8б – Развальцовка труб цилиндрической вальцовкой перед сваркой

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 14 из 30

Развальцовка концов труб перед сваркой должна производиться без применения смазки.

Величина выступания концов труб над поверхностью трубной решетки для соединений со сваркой должна находиться в интервале  $0\dots 1,5S$ , если иное не указано в проектной конструкторской документации.

Для теплообменников вертикального исполнения с целью улучшения условий для дренажа теплоносителя допускается заглублять концы труб в отверстиях верхней трубной решетки на глубину  $A=1,5S$  (рисунок 9) для того, чтобы исключить выступание сварного шва над лицевой поверхностью трубной решетки.

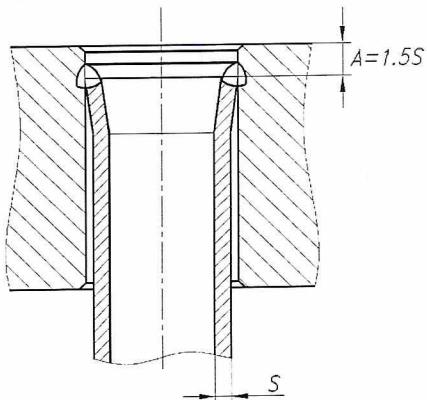


Рисунок 9 – Труба, заглубленная в отверстие трубной решетки

После того, как трубы выставлены над трубной решеткой (или заглублены в нее) и разваликованы под сварку, производится сварка труб с трубной решеткой в соответствии с проектной конструкторской документацией (рисунок 10).

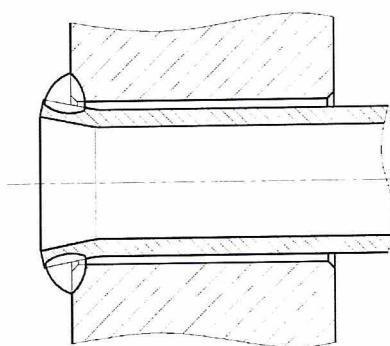


Рисунок 10 – Сварка трубы с трубной решеткой

По окончании сварки концы труб разваликовываются на заданную глубину цилиндрическими вальцовками.

В том случае, когда материалы трубы и трубной решетки не закаливаются на воздухе в процессе охлаждения после сварки, разваликовка труб производится по сварному шву (рисунок 11).

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 15 из 30

В случае, когда хотя бы один из материалов соединения способен в процессе охлаждения закаливаться на воздухе, развалицовка труб производится с отступом от наружной поверхности трубной решетки на 7...10 мм (рисунок 12).

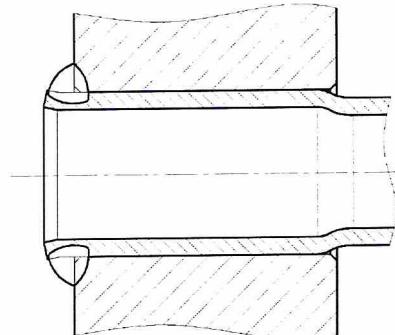


Рисунок 11 – Развальцовка трубы по сварному шву.

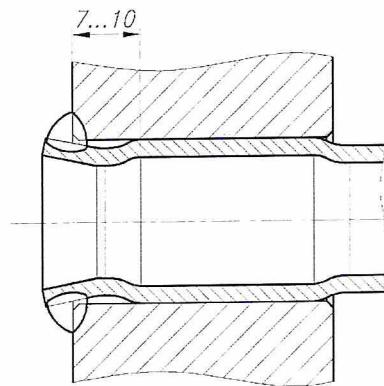
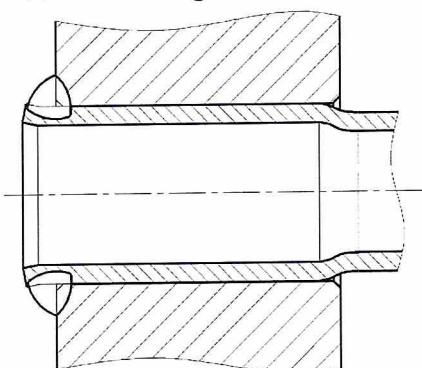


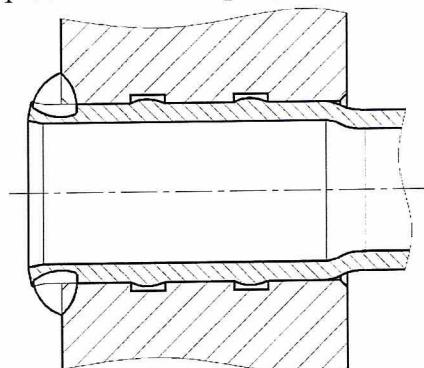
Рисунок 12 – Развальцовка трубы за сварным швом.

В комбинированных соединениях с целью повышения их надежности допускается применение уплотнительных канавок или уплотнительного кольцевого рельефа.

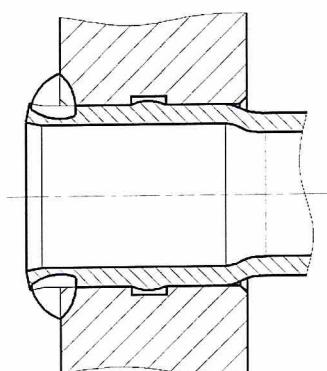
Виды комбинированных соединений К1 – К4 представлены на рисунке 13.



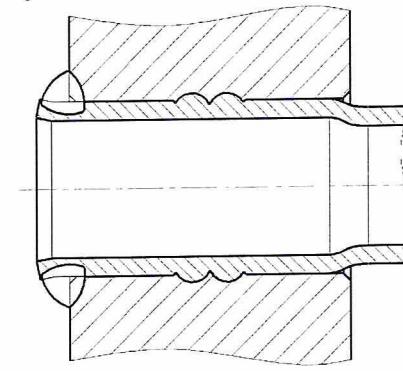
К1 – гладкое соединение



К2 – соединение с двумя уплотнительными канавками



К3 – соединение с одной уплотнительной канавкой



К4 – соединение с уплотнительным кольцевым рельефом

Рисунок 13 – Виды комбинированных соединений

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 16 из 30

### 5.3 Обозначение видов соединений

В текстах технических документов и на чертежах виды соединений рекомендуется обозначать буквами «В» (вальцованные) или «К» (комбинированные) с цифровыми индексами в соответствии с рисунками 6 и 13 и с указанием стандарта (СТО). При этом вид и геометрические характеристики сварных швов для комбинированных соединений указываются в проектной конструкторской документации и не влияют на обозначение вида соединения на чертежах.

Примеры условного обозначения соединений:

- вальцованное соединение с двумя уплотнительными канавками (рисунок 6)

**Соединение В2 СТО 02066380-001;**

- комбинированное соединение с уплотнительным кольцевым рельефом (рисунок 13)

**Соединение К4 СТО 02066380-001.**

### 5.4 Выбор вида соединения

Вид соединения для каждого конкретного теплообменного аппарата определяется требованиями проектной конструкторской документации, опытом проектирования и эксплуатации аппаратов в отечественной и зарубежной промышленности, а также на основании проведения опытно-конструкторских работ.

Рекомендуемые виды соединений труб с трубными решетками в зависимости от характеристик рабочих сред, расчётных давлений и температур теплоносителей теплообменных аппаратов указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Рекомендуемые виды соединений

Расчетное давление, МПа	Расчетная температура, °C	Характеристика рабочей среды по ГОСТ 12.1.007	Вид соединения
До 25	Независимо	Взрывоопасная, пожароопасная и токсичная 1, 2, 3-го классов опасности	K2 K3 K4
От 5 до 25	Независимо	Любая, за исключением указанной для 1-й группы сосудов	K1 B2 B3 B4
От 0,05 до 5	От минус 40 до 450		K1 B1 B2 B3 B4
От 0,05 до 1,6	От минус 20 до 200		B1 B2 B3 B4
Под налив и от 0 до 0,05 или вакуум	Независимо	Любая, за исключением токсичной 1, 2, 3-го классов опасности	K1 K2 K3 K4 B1 B2 B3 B4
		Взрывобезопасная, пожаробезопасная и/или токсичная 4-го класса опасности	B1 B2 B3 B4

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 17 из 30

## 6 Технологический процесс крепления труб в трубных решетках

Все работы по креплению труб в трубных решетках следует производить в закрытых отапливаемых вентилируемых помещениях.

При выполнении работ на открытых площадках должны быть приняты меры для защиты места работ от воздействия атмосферных осадков и ветра.

Организация работ, все виды внутренней заводской аттестации по креплению труб в трубных решетках, технологические инструкции о порядке производства работ по креплению труб, организация обучения персонала и контроль при производстве этих работ должны регулироваться внутренними нормативными документами завода-изготовителя.

### 6.1 Настройка вальцовочной машины

Для получения в соединении «труба – трубная решетка» контактных давлений, обеспечивающих высокое качество соединения, к веретену вальцовки в процессе закрепления трубы следует приложить крутящий момент оптимальной величины.

В связи с тем, что величина крутящего момента зависит от таких факторов, как:

- глубина развальцовки;
- углы разворота роликов в окнах корпуса вальцовки;
- количество роликов в корпусе;
- конусности веретена и роликов;
- соотношение диаметров веретена и роликов;
- разброс механических свойств материалов труб и трубных решеток;
- применяемая смазка, и т.п.,

настройку вальцовочной машины (привода) следует производить непосредственно перед началом работ по развальцовке на конкретных трубах, конкретными вальцовками со своими техническими характеристиками, и с применением конкретной смазки.

Настройку привода рекомендуется выполнять в следующем порядке:

6.1.1 Выбрать в каком-либо из рядов трубной решетки 6 – 8 соединений, расположенных подряд, и с точностью до 0,02 мм измерить диаметры, указанные на рисунке 14. Эта группа соединений будет считаться контрольной при настройке привода.

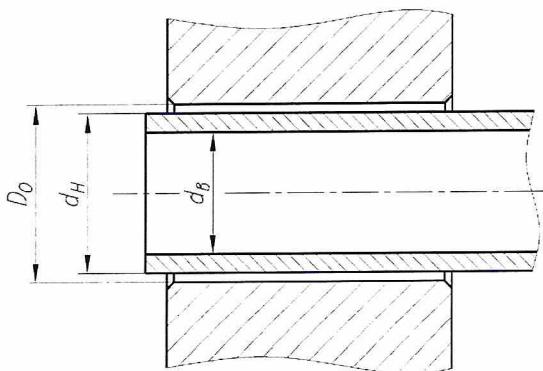


Рисунок 14 – Диаметры трубы и отверстия до развальцовки

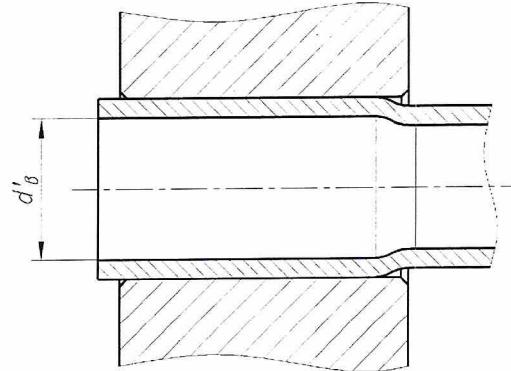


Рисунок 15 – Внутренний диаметр трубы после развальцовки

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»			
		Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 18 из 30

Измеренные значения диаметров для каждого контрольного соединения занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Значения диаметров контрольных соединений

№ соединения	До развалцовки			После развалцовки	Диапазон развалцовки	
	$D_0$ , мм	$d_H$ , мм	$d_e$ , мм		при $K^{\min}$	при $K^{\max}$
	$d_e^{\min}$ , мм	$d_e^{\max}$ , мм				
1						
2						
3						

6.1.2 Произвести расчёты внутренних диаметров труб после развалцовки  $d_e^{\min}$  и  $d_e^{\max}$  при минимальных и максимальных значениях утонений стенки трубы  $K$  по формуле:

$$d'_e = d_e + \Delta + \frac{K}{100} 2S,$$

где:  $\Delta$  – диаметральный зазор между диаметром отверстия в трубной решетке и наружным диаметром трубы до развалцовки,  $\Delta = D_0 - d_H$ ;

$$S – \text{толщина стенки трубы}, S = \frac{d_H - d_e}{2};$$

$K$  – утонение стенки трубы в процессе развалцовки, %.

Численные значения величины  $K$  в зависимости от материалов закрепляемых труб приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Утонение стенки трубы в процессе развалцовки

Материал трубы	$K, \%$ *
Нелегированные стали	6 – 8
Нержавеющие стали	3 – 5
Легированные стали	4 – 6
Титановые сплавы	3 – 5
Медь и её сплавы	5 – 8
Алюминий и его сплавы	5 – 12

\* – для комбинированных соединений в технически обоснованных случаях допускается уменьшение величины  $K$  на 2%.

Расчётные значения внутренних диаметров труб после развалцовки  $d_e^{\min}$  и  $d_e^{\max}$  занести в таблицу 2.

6.1.3 Установить на приводе минимальное значение величины крутящего момента, присоединить к приводу вальцовку и разваливать трубу в первом контрольном соединении.

	СПБГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 19 из 30

6.1.4 После остановки привода и извлечения вальцовки из трубы измерить внутренний диаметр трубы  $d'_\epsilon$  (рисунок 15) и сравнить его с расчётными значениями  $d'^{\min}_\epsilon$  и  $d'^{\max}_\epsilon$  из таблицы 2.

Если измеренное значение  $d'_\epsilon$  меньше минимального расчетного диаметра  $d'^{\min}_\epsilon$ , то следует увеличить крутящий момент привода и повторно развальцовывать ту же трубу.

Последовательно увеличивая значение крутящего момента привода, следует добиться того, чтобы измеренный диаметр трубы после развальцовки оказался внутри диапазона развальцовки из таблицы 2:

$$d'^{\min}_\epsilon \leq d'_\epsilon \leq d'^{\max}_\epsilon.$$

Величину  $d'_\epsilon$  первого соединения занести в таблицу 2.

6.1.5 С полученным значением крутящего момента развальцовывать ещё 2 – 3 трубы в контрольных соединениях, каждый раз производя измерения внутреннего диаметра труб после развальцовки  $d'_\epsilon$  и корректируя (если требуется) величину крутящего момента.

6.1.6 Развальцовывать оставшиеся трубы из контрольной группы соединений и убедиться в том, что внутренние диаметры труб после развальцовки для каждого соединения не выходят за границы диапазона развальцовки из таблицы 2.

При выполнении этого условия привод будет считаться настроенным на оптимальную величину крутящего момента для развальцовки труб данной партии.

Измеренные значения  $d'_\epsilon$  для каждого контрольного соединения занести в таблицу 2.

Настроечная таблица 2 является основанием для принятия решения о правильной настройке вальцовой машины и может быть представлена заказчику при приемке аппарата.

Для последующей развальцовки труб знание численного значения величины крутящего момента не требуется. Однако, по требованию заказчика, величина крутящего момента может быть измерена на специальном стенде и внесена в дополнительную графу «настроечной» таблицы 2 в качестве справочной.

Настройку привода можно проводить также и на опытных образцах соединений. При этом должны быть выполнены следующие условия:

- трубы должны быть выбраны из той же партии, что и трубы теплообменного аппарата;
- материал опытного образца трубной решетки должен полностью соответствовать материалу трубной решетки аппарата;
- шаг размещения отверстий в опытном образце трубной решетки должен соответствовать шагу размещения отверстий в трубной решетке аппарата.

Допускается настройка привода по другим методикам, обеспечивающая развальцовку труб с процентным утонением стенок труб, не выходящим за интервалы утонений, указанных в таблице 3 настоящего стандарта.

	<b>СПбГМТУ</b>	<b>СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»</b>		
	<b>Научно-производственный учебный технический центр</b>	<b>СТО 02066380-001-2019</b>	<b>Версия 03</b>	<b>стр. 20 из 30</b>

## 6.2 Крепление труб развалцовкой

*Для теплообменных аппаратов с двумя неподвижно закрепленными трубными решетками.*

6.2.1 Выставить по высоте выступания концы труб в первой трубной решетке, если это выступание не обеспечивается конструкцией вальцовки.

6.2.2 Развальцовать концы труб в первой трубной решетке. Развальцовку рекомендуется производить в последовательности, указанной на рисунке 16, т.е. от центра к периферии через ряд.

Указанная последовательность развалцовки предохраняет трубную решетку от появления возможных деформаций вследствие вальцовочных напряжений.

6.2.3 Произвести подрезку и торцовку труб (если требуется), выступающих над наружной плоскостью второй трубной решетки, в заданный размер.

6.2.4 Развальцовать концы труб во второй трубной решетке в такой же последовательности, как и в первой.

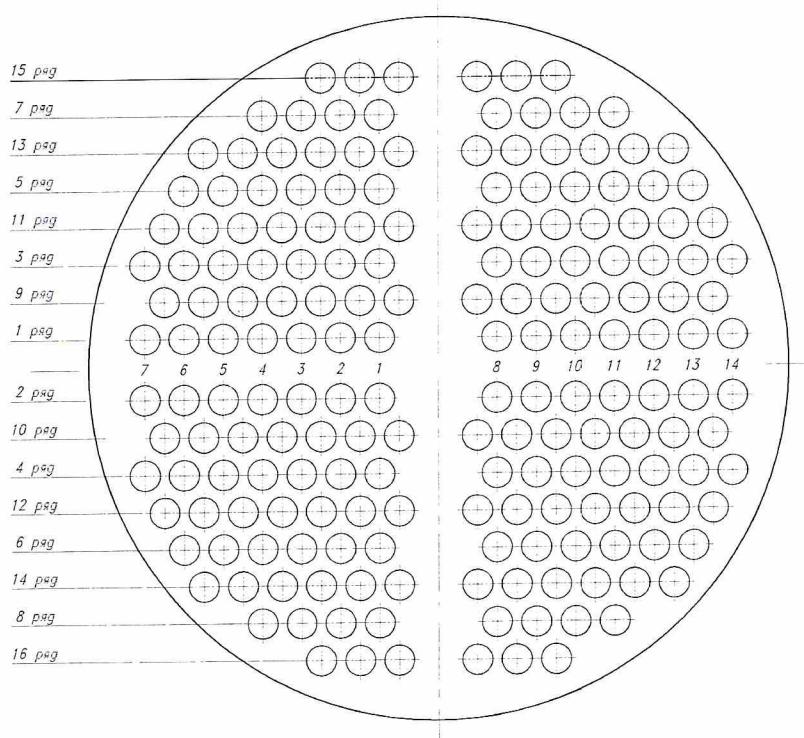


Рисунок 16 – Рекомендуемая схема последовательности развалцовки труб в трубной решетке

*Примечание – В отдельных случаях при изготовлении воздухоохладителей для рециркуляционных охлаждающих установок, теплообменных аппаратов с плавающей головкой, аппаратов с U-образными трубами в процессе развалцовки труб могут наблюдаться такие явления, как разворот трубных решеток относительно друг друга вокруг продольной оси аппарата, а также закручивание трубного пучка.*

 <b>СПбГМТУ</b>	<b>СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»</b>		
	<b>Научно-производственный учебный технический центр</b>	<b>СТО 02066380-001-2019</b>	<b>Версия 03</b>

*Для предотвращения указанных явлений при развалцовке труб классическими вальцовками правого вращения следует также применять вальцовки левого вращения.*

*Рекомендуемый порядок закрепления труб с применением вальцовок левого вращения приведен ниже.*

*Для теплообменных аппаратов с U-образными трубами и одной трубной решеткой.*

6.2.5 Выставить по высоте выступания концы труб над трубной решеткой, если это выступание не обеспечивается конструкцией вальцовки.

6.2.6 Развальцовать концы труб с номерами 1...7 в первом ряду трубной решетки (см. рисунок 16) вальцовкой правого вращения.

6.2.7 Развальцовать концы труб с номерами 8...14 в том же ряду вальцовкой левого вращения.

6.2.8 Развальцовать концы труб во втором и последующих рядах трубной решетки в такой же последовательности, каждый раз перемещаясь через ряд вверх и вниз, а в каждом ряду – влево и вправо, т.е. от центра трубной решетки к ее периферии (с применением для «вторых» концов U-образных труб вальцовок левого вращения).

Применение вальцовок левого вращения для закрепления концов труб, расположенных в правой половине трубной решетки (рисунок 16), предотвращает деформацию (закручивание) трубного пучка в корпусе аппарата.

*Для теплообменных аппаратов с плавающей головкой.*

Развальцовку труб в неподвижной трубной решетке следует производить точно также, как и в первой трубной решетке аппаратов с двумя неподвижно закрепленными трубными решетками (см. пп 6.2.1...6.2.2).

Развальцовку труб в подвижной трубной решетке следует производить с применением вальцовок правого и левого вращения: сначала вальцовками правого вращения рекомендуется развалцовывать концы труб во всей трубной решетке через ряд, начиная с центрального ряда и перемещаясь вверх и вниз (ряды с 1-го по 8-й на рисунке 16); затем вальцовками левого вращения развалцовывать концы труб в оставшихся рядах (с 9-го по 16-й на рисунке 16).

Предлагаемая последовательность развалцовки предотвращает разворот подвижной трубной решетки вокруг продольной оси аппарата.

*Для теплообменных аппаратов рециркуляционных охлаждающих установок.*

Развальцовку труб в первой и второй трубных решетках следует производить в такой же последовательности и такими же вальцовками, как в неподвижной и подвижной трубных решетках теплообменных аппаратов с плавающей головкой.

*Последовательность развалцовки для всех перечисленных выше теплообменных аппаратов носит рекомендательный характер и может быть изменена в каждом конкретном случае с учетом специфики конструкции аппарата.*

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 22 из 30

### 6.3 Крепление труб комбинированным способом

Перед началом работ по креплению труб комбинированным способом необходимо очистить от рыхлой окалины, остатков смазочных материалов и прочих загрязнений и тщательно обезжирить концы свариваемых труб, стенки отверстий в трубных решетках, а также лицевые поверхности решеток.

*Для теплообменных аппаратов с двумя неподвижно закрепленными трубными решетками, аппаратов с плавающей головкой, а также для теплообменных аппаратов рециркуляционных охлаждающих установок.*

6.3.1 Выставить по высоте выступания концы труб в первой трубной решетке.

6.3.2 Развальцевать концы труб в первой трубной решетке под сварку (см. п. 5.2) в любой удобной последовательности.

6.3.3 Сварить концы труб с первой трубной решеткой в последовательности, указанной в технической документации на изделие.

В случае, если в технической документации последовательность сварки не указана, тогда с целью уменьшения вероятности деформации трубной решетки сварку следует проводить вразнобой, небольшими группами (по 10-30 соединений, в зависимости от диаметров труб и их количества в аппарате), последовательно переходя от одного участка трубной решетки к другому.

Деление трубной решетки на участки, количество участков и последовательность перехода от одного участка к другому определяет ответственный специалист (мастер, технолог, начальник участка и т.п.), организующий работы по креплению труб.

Примерные схемы деления трубной решетки на участки и последовательность сварки показаны на рисунке 17.

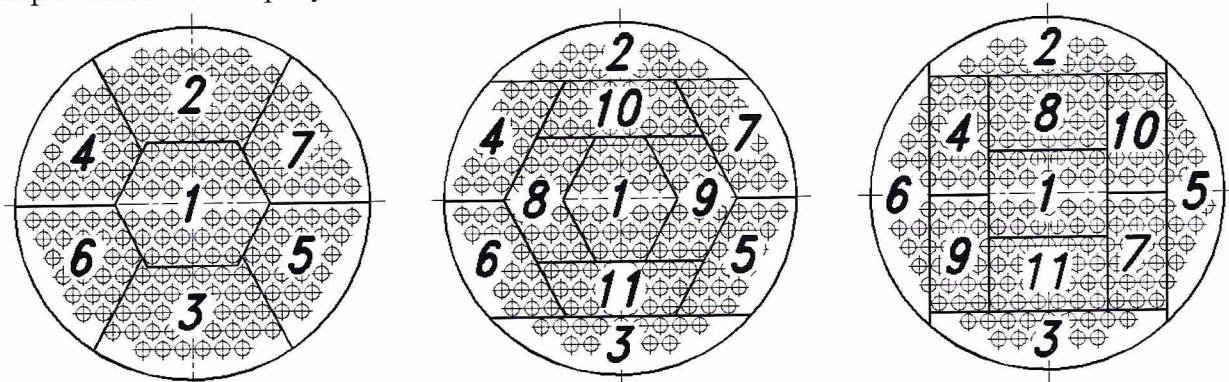


Рисунок 17 – Примерные схемы деления трубной решетки на участки под сварку

6.3.4 Развальцевать концы труб в первой трубной решетке цилиндрической вальцовкой в соответствии с требованиями технической документации (по сварному шву или за ним с отступом 7...10 мм от наружной поверхности решетки, см. п. 5.2). Последовательность развальцовки указана на рисунке 16.

6.3.5 Произвести подрезку и торцовку концов труб (если требуется), выступающих над второй трубной решеткой, в один размер.

6.3.6 Произвести закрепление концов труб во второй трубной решетке в последовательности, указанной в пп 6.3.2...6.3.4.

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 23 из 30

В тех случаях, когда в проектной конструкторской документации имеется требование термообработки сварных швов и (или) испытания сварных швов на герметичность, то развалцовку труб цилиндрическими вальцовками следует производить после термообработки и испытаний на герметичность сначала в первой трубной решетке в соответствии со схемой развалцовки на рисунке 16, а затем – во второй, по той же схеме.

**Для теплообменных аппаратов с U-образными трубами и одной трубной решеткой.**

Предварительную развалцовку концов труб, их сварку с трубной решеткой и окончательную развалцовку труб цилиндрическими вальцовками следует производить в такой же последовательности, как для первой трубной решетки в аппаратах с двумя трубными решетками (см. пп 6.3.1...6.3.4).

## 7 Особенности крепления труб в аппаратах воздушного охлаждения

Развалцовка концов труб в трубных решетках аппаратов воздушного охлаждения производится через технологические резьбовые отверстия в передней стенке (крышке) камеры специальными вальцовками с удлиненной обоймой (рисунок 18).

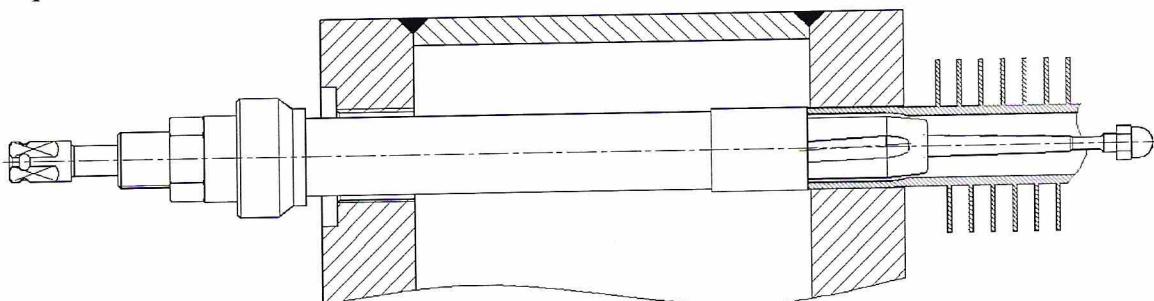


Рисунок 18 – Вальцовка с удлиненной обоймой в сварной камере  
аппарата воздушного охлаждения

При выполнении комбинированных соединений развалцовка труб пред сваркой (см. п. 5.2) и их последующая сварка с трубной решеткой осуществляются через те же технологические отверстия.

При необходимости развалцовки труб вторым «поясом» используются удлиненные регулируемые вальцовки (рисунок 19). В этом случае зона перекрытия вальцовых «поясов» должна составлять не менее 10% от рабочей длины роликов.

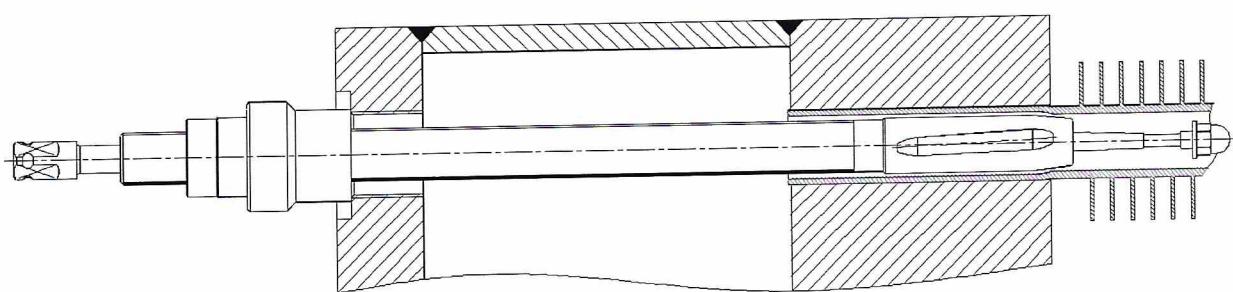


Рисунок 19 – Удлиненная регулируемая вальцовка в сварной камере  
аппарата воздушного охлаждения



Для цельноструктурных камер аппаратов воздушного охлаждения процесс крепления труб производится теми же вальцовками и по той же технологии, что и для сварных камер (рисунок 20).

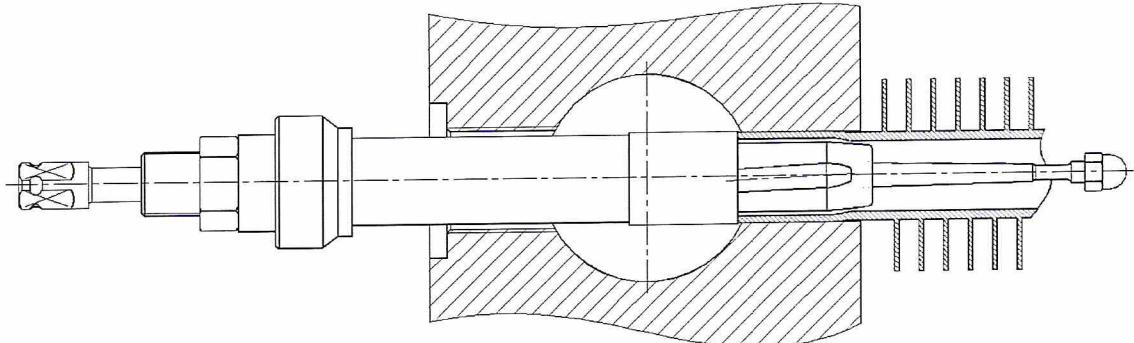


Рисунок 20 – Вальцовка с удлиненной обоймой в цельноструктурной камере аппарата воздушного охлаждения

Развальцовка концов труб в трубной решетке первой (как правило, неподвижной) камеры теплообменной секции производится рядами последовательно от середины к краям. Такая последовательность развалицовки обеспечивает минимальные деформации трубной решетки.

В трубной решетке второй камеры (подвижной) развалицовка труб производится по зонам в последовательности, указанной на рисунке 21. При этом порядок развалицовки труб в каждой зоне – произвольный. Такая последовательность развалицовки позволяет сориентировать вторую камеру теплообменной секции относительно первой и зафиксировать её положение, обеспечив заданную геометрию секции.

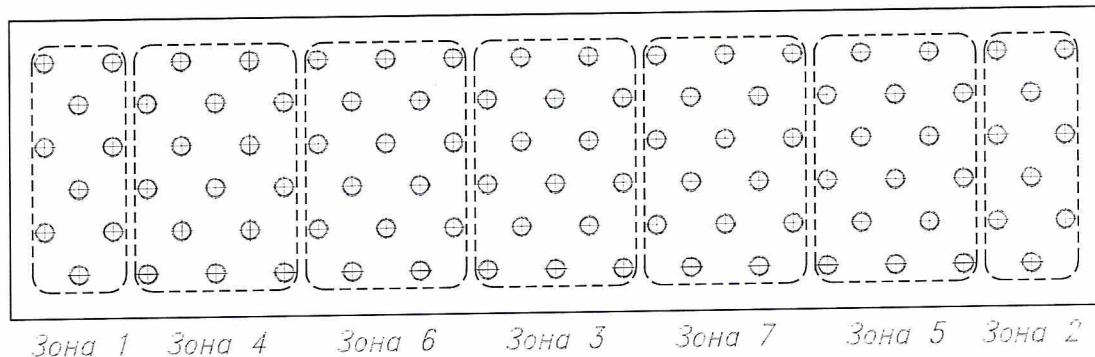


Рисунок 21 – Примерная схема деления трубной решетки подвижной камеры АВО на зоны

В случае выполнения комбинированных соединений в АВО сварка труб в обеих трубных решетках может производиться в той же последовательности, что и развалицовка концов труб в трубной решетке подвижной камеры (рисунок 21), если иное не указано в технической документации на изделие. При этом последующую развалицовку труб в обеих решетках следует выполнять рядами от середины к краям.

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 25 из 30

## 8 Особенности крепления труб в аппаратах с двойными трубными решетками

При закреплении труб в аппаратах с двойными трубными решетками сначала производится развальцовка трубы во внутренней решетке (рисунок 22), а затем – в наружной (рисунок 23).

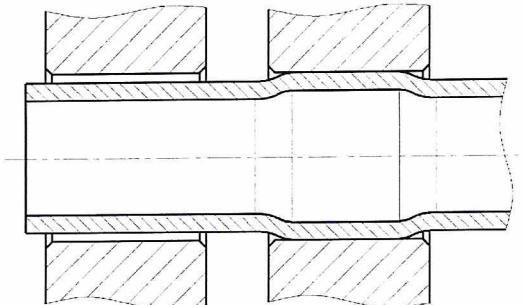


Рисунок 22 – Развальцовка трубы во внутренней трубной решетке

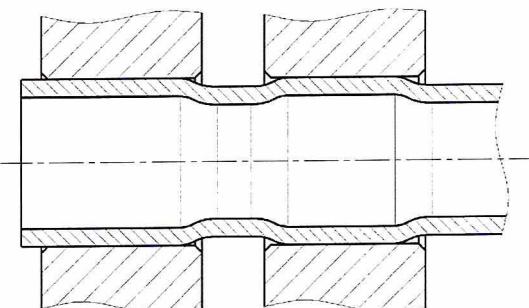


Рисунок 23 – Развальцовка трубы в наружной трубной решетке

При закреплении труб комбинированным способом после развальцовки трубы во внутренней решетке производится развальцовка конца трубы, выступающего из наружной решетки, под сварку (см. п. 5.2), после чего труба сваривается с наружной решеткой и развальцовывается цилиндрической вальцовкой по сварному шву, или за ним.

В том случае, когда длина ролика вальцовки превышает толщину двух трубных решеток вместе с дренажной полостью, допускается одновременная развальцовка трубы в трубных решетках и дренажной полости (рисунок 24) при условии, что на внутренних кромках отверстий выполнены скругления радиусом  $r = 1 \dots 3$  мм.

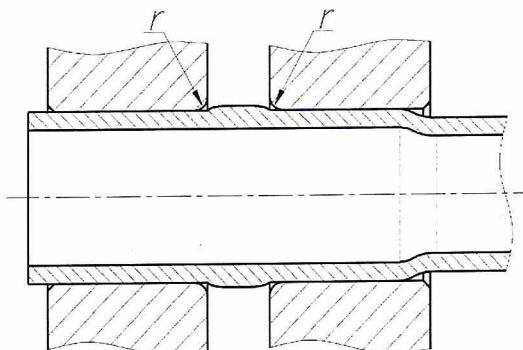


Рисунок 24 – Одновременная развальцовка трубы в трубных решетках и дренажной полости



## 9 Особенности крепления труб в толстых трубных решетках.

Трубная решетка считается толстой, если ее толщина превышает номинальный наружный диаметр закрепляемой в ней трубы в 4 раза и более.

Развальцовка труб осуществляется удлиненными регулируемыми вальцовками последовательно, «шагами» (рисунок 25). При этом зона перекрытия вальцовочных «поясов» должна составлять не менее 10% от рабочей длины роликов.

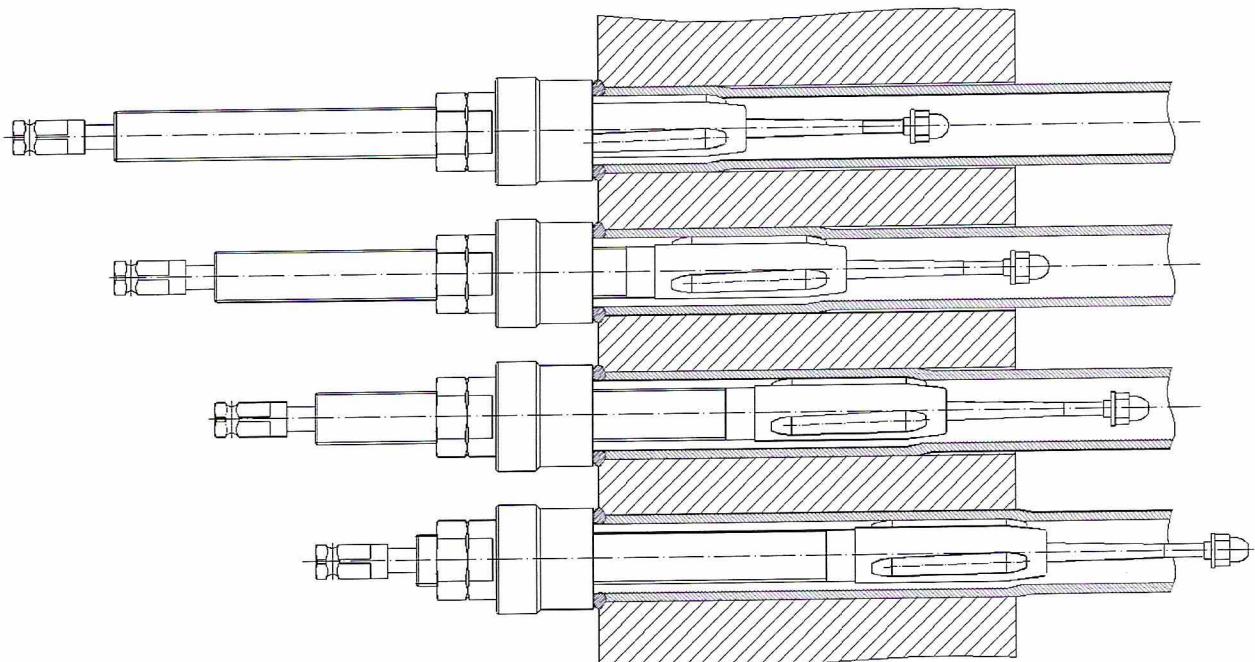


Рисунок 25 – Развальцовка трубы в толстой  
трубной решетке «пошаговым» способом

9.1 Для теплообменных аппаратов с U-образными трубами, а также для аппаратов с плавающей головкой развальцовка труб ведется в направлении от наружной поверхности трубной решетке к внутренней (рисунок 25).

9.2 Для теплообменных аппаратов с двумя неподвижно закрепленными трубными решетками развальцовка в первой трубной решетке ведется в направлении от наружной поверхности решетки к внутренней, а во второй трубной решетке – в обратном направлении (от внутренней поверхности к наружной).

9.3 Для комбинированных соединений в трубных решетках теплообменных аппаратов с U-образными трубами, а также для аппаратов с плавающей головкой, развальцовка труб после их сварки с решетками всегда ведется в направлении от наружной поверхности решетки (от сварного шва) к внутренней. Такая последовательность развальцовки предохраняет сварные швы от осевых напряжений, возникающих при развальцовке. При этом удлинение труб для указанных аппаратов не имеет существенного значения.

9.4 Для комбинированных соединений в теплообменных аппаратах с двумя неподвижно закрепленными трубными решетками после их сварки с трубами развальцовку труб цилиндрическими вальцовками рекомендуется производить в следующем порядке.

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 27 из 30

9.4.1 Развальцовывать концы труб одним «поясом» с отступом от сварного шва на 7...10 мм (или по сварному шву, см. п. 5.2) в обеих трубных решетках (рисунок 26).

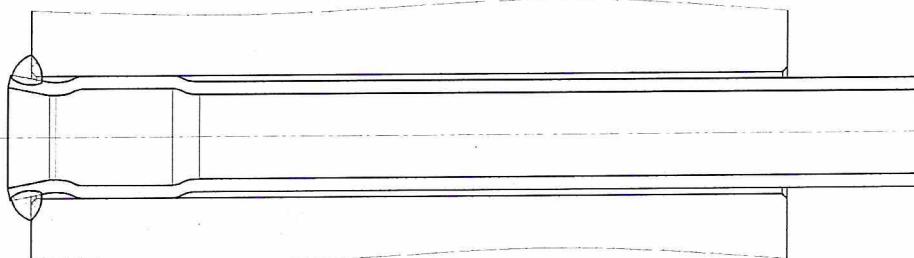


Рисунок 26 – Развальцовка конца трубы за сварным швом

9.4.2 Развальцовывать трубы в обеих трубных решетках вторым «поясом» вблизи выхода труб в теплообменную полость (рисунок 27).

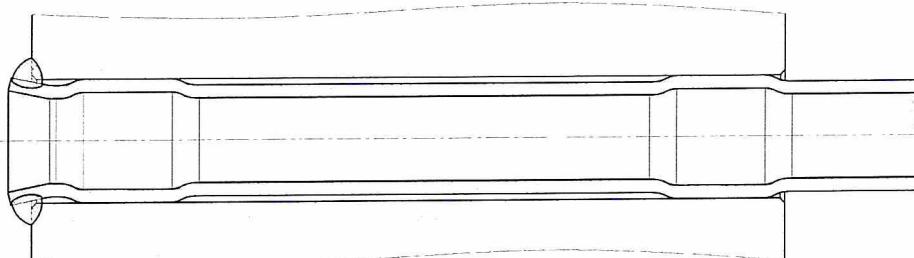


Рисунок 27 – Развальцовка конца трубы в зоне ее выхода в теплообменную полость

9.4.3 Последовательно, «шагами», развалицовывать неразвальцованные участки концов труб в обеих трубных решетках, начиная от первого вальцовочного «пояса» в сторону теплообменной полости (рисунок 28). При этом допускается уменьшение величины К на 2% (см. таблицу 3).

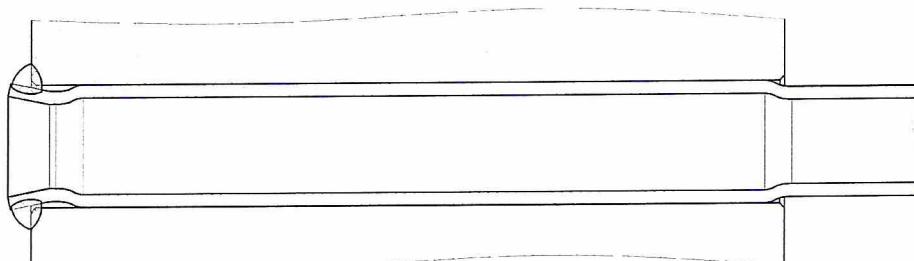


Рисунок 28 – Окончательная развалицовка конца трубы в толстой трубной решетке

Рекомендуемый порядок развалицовки позволяет предохранить сварные швы от осевых напряжений, возникающих при развалицовке труб несколькими вальцовочными «поясами», а также минимизировать удлинение и провисание труб в теплообменной полости.

В технически обоснованных случаях (например, в аппаратах с U-образными трубами, или в змеевиковых теплообменных аппаратах, а также в аппаратах с плавающей головкой) развалицовка труб в толстых трубных решетках может выполняться ленточно-винтовыми конусными вальцовками (ЛВК).

Порядок развалицовки труб вальцовками ЛВК может быть следующим.



Вальцовка устанавливается передним концом с роликами в трубу и в процессе вращения веретена перемещается по трубе в осевом направлении, развалицовывая трубу на всю толщину трубной решетки за один проход. При этом внутренний диаметр трубы после развалицовки обеспечивается путем подбора количества регулировочных шайб на веретене вальцовки.

Процесс крепления трубы ленточно-винтовой конусной вальцовкой представлен на рисунках 29 и 30.

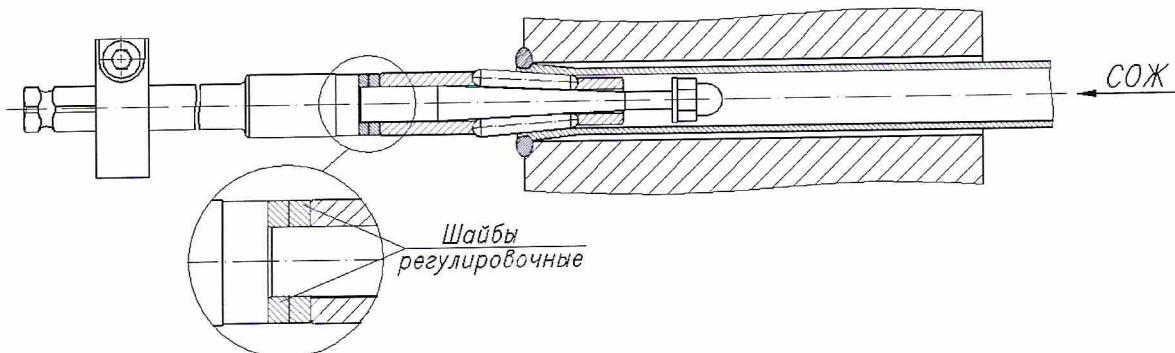


Рисунок 29 – Начало процесса развалицовки трубы вальцовкой ЛВК

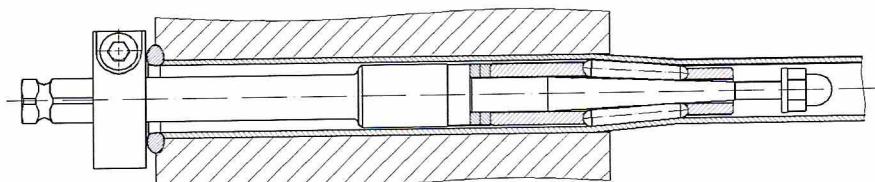


Рисунок 30 – Окончание процесса развалицовки трубы вальцовкой ЛВК

В связи с тем, что в процессе развалицовки трубы выделяется большое количество тепла, что может привести к перегреву роликов и веретена вальцовки, необходимо в процессе работы непрерывно подавать смазочно-охлаждающую жидкость непосредственно в зону развалицовки (например, через противоположный конец трубы).

## 10 Контроль качества закрепления труб

Контроль герметичности и прочности вальцовых или комбинированных соединений производится в соответствии с требованиями проектной документации или в соответствии с ГОСТ 34347 и ОСТ 26.260.14.

Испытания сварных соединений на герметичность пневматическим способом или инертным газом проводятся до выполнения развалицовки. Давление пневмоиспытаний может составлять 0.1...0.2 МПа.

При изготовлении трубных пучков без использования технологических корпусов допускается проводить пневмоиспытания сварных соединений труб с трубными решетками методом вакуумирования с остаточным давлением 670 Па (5 мм рт. ст.).

Контроль в обязательном порядке включает в себя визуальный, с применением подсветки, осмотр всех соединений с целью выявления возможных дефектов.

В вальцовых соединениях не должно быть таких дефектов, как:

- шелушение (отслаивание) металла на развализованных участках труб;

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 29 из 30

– наличие резких переходов от развальцованных участков к неразвальзованным, а также наличие кольцевых рисок в переходных зонах, вызванных выкрашиванием или поломкой передних концов роликов;

– наличие неразвальзованных (случайно пропущенных) концов труб.

Допускается одно-двуухкратная подвальцовка негерметичных вальцованных соединений с увеличением внутреннего диаметра трубы на 0,1...0,2 мм.

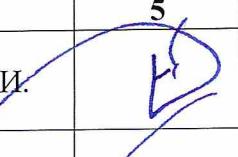
Подвальцовку тонкостенных труб (см п.4.3) следует производить пятироликовыми вальцовками.

В комбинированных соединениях не допускаются дефекты сварки в соответствии с требованиями ГОСТ 34347, а также наплыты металла внутри теплообменных труб, препятствующие свободному вводу в трубу вальцовки.

При обнаружении в соединении того или иного неисправимого дефекта трубу следует заменить на новую или заглушить в соответствии с требованиями нормативной документации.

	СПбГМТУ	СТО «Крепление труб в трубных решетках теплообменных аппаратов Общие технические требования»		
	Научно-производственный учебный технический центр	СТО 02066380-001-2019	Версия 03	стр. 30 из 30

## 11 Лист согласования

№ п/п	Наименование подразделения	Должность	Ф.И.О.	Подпись	Дата
1	2	3	4	5	6
1	Ректорат	Проректор по НР	Кузнецов Д.И.		12.07.2023
2	НПУТЦ	Руководитель НПУТЦ заместитель руководителя НИЧ	Кузнецов И.Л.		10.07.2023
3	НИЧ	Главный метролог	Шаманова И.В.		10.07.2023
4	УКСиМ	Начальник	Скударнова И.В.		11.07.23
5	АИО	Исполнитель	Сарыч Н.Я.		20.07.23