

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

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

15.04.01 Машиностроение
(код и наименование направления подготовки)

Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического оборудования
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Исследование формирования шва труб $d = (18-70)$ мм токами
высокой частоты

Студент

Р.А. Стряхилев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

К.т.н., доцент, Г.М. Короткова

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

Тольятти 2020

Содержание

1	Анализ конструкций из электросварных труб, применяемых в отечественном автомобилестроении.....	6
1.1	Характеристики электросварных труб, используемых в автомобилестроении	16
1.2.	Анализ дефектов электросварных прямошовных труб.....	25
1.3.	Проблемы применения электросварных прямошовных труб в отечественном машиностроении.....	31
1.4.	Анализ возможных решений проблем применения электросварных труб в отечественном машиностроении	32
2	Исследование процессов сварки труб и их обработки токами высокой частоты	35
2.1	Исследование процессов высокочастотной сварки прямошовных труб	37
2.1.1	Оборудование для высокочастотной сварки прямошовных труб	40
2.2	Исследование процесса термической обработки токами высокой частоты	49
2.2.1	Оборудование для термической обработки токами высокой частоты	56
2.3	Методика исследования сварных и термообработанных труб	60
2.3.1	Методика исследования механических свойств труб	62
2.3.2	Методика исследования структуры труб и химического состава	65
2.3.3	Методика исследования геометрических параметров труб	67
3	Проведение эксперимента и оценка результатов	70
3.1	Описание изделия	70

3.2	Описание установленных требований	70
3.3	Используемое оборудование и краткое описание экспериментального технологического процесса.....	72
3.4	Ожидаемые результаты	75
3.5	Проведение эксперимента.....	76
3.6	Получение результатов.....	80
3.6.1	Анализ полученных результатов.....	88
4	Разработка технологии изготовления электросварной трубы по требованиям стандарта ТEF 320	90
4.1	Выбор оборудования для технологии изготовления трубной заготовки Ø25x1,5	90
4.2	Выбор материала.....	91
4.3	Выбор параметров режима.....	91
4.4	Проектирование технологического процесса изготовления трубы размерами Ø25x1,5 под требования стандарта ТEF 320	93
	Заключение	97
	Список используемых источников.....	99

Введение

Электросварные прямошовные стальные трубы уже давно используются во многих отраслях промышленности и машиностроения и не являются особенным конструктивным элементом. Способы получения такого типа труб также давно известны и усовершенствованы до того уровня, которого требует современная промышленность.

Тем не менее, для электросварных прямошовных труб все еще находят новое применение, в частности – в автомобилестроении, в отечественном и зарубежном. Сегодня в России сконцентрировано несколько десятков производств, которые занимаются изготовлением автокомпонентов для зарубежных автомобилей. На данных производствах для изготовления деталей кузова, сидений или шасси используются трубные заготовки, которые могут быть как отечественного производства, так и импортной поставки. При этом электросварные трубные заготовки отечественного производства вытесняют импортные за счет того, что они дешевле.

При изготовлении электросварных прямошовных труб важно уделять внимание формированию сварного шва и характерным свойствам получаемой трубы. Сварочный шов является главной конструкционной особенностью такого типа труб и от его состояния зависят конечные свойства трубчатого изделия. Нередко к электросварным трубам, применяемым в автомобилестроении, предъявляются жесткие требования, которые касаются механических свойств, структуры сварного соединения и основного металла, а также химического состава. Данные требования распространяются на сварочный шов, что в некоторых случаях создает проблемы при изготовлении трубы.

Кроме требований к сварному соединению, производительность изготовления трубных заготовок играет большую роль, поэтому для

получения неразъемного сварного соединения применяется сварка токами высокой частоты .

Так как трубы, находящиеся в составе узлов автомобиля, влияют на целостность конструкции, а значит и на здоровье и безопасность пассажира, то производители таких труб должны обеспечивать высокое качество продукта. Для этого применяются современные способы изготовления и обработки труб.

Но, несмотря на все вышесказанное, не всегда удается добиться требуемых свойств на заготовках отечественного производства. Это связано с тем, что свойства отечественных материалов не соответствуют свойствам зарубежных материалов. Соответственно, для того, чтобы получать необходимые свойства на трубных заготовках с использованием отечественных материалов, необходимо искать технологические пути решения данной проблемы.

Одним из решений такой проблемы может быть применение термической обработки. Применение поверхностной закалки токами высокой частоты с целью получения необходимых свойств в соответствии с такими зарубежными стандартами, как стандарта TEF 320.

Выполнение стандарта TEF 320 при изготовлении трубных заготовок для автокомпонетов из отечественной стали позволит увеличить поставки автокомпонетов другим государствам.

Цель данной работы – разработка технологии изготовления трубных заготовок из отечественного материала с соблюдением требований зарубежного стандарта TEF 320, которая обеспечит увеличение поставок автокомпонетов.

1 Анализ конструкций из электросварных труб, применяемых в отечественном автомобилестроении

Стальные электросварные прямошовные трубы применяются во многих конструктивных элементах автомобиля – в кузовной части, в шасси, в каркасах автомобильных кресел. Столь широкий диапазон применения подразумевает большое конструкционное разнообразие деталей, изготовленных из электросварных труб. В зависимости от назначения, трубы могут различаться по геометрическим размерам и материалу. В автомобилестроении используются трубы как круглого сечения (рис. 1), так и прямоугольного (профильные трубы) (рис. 2).

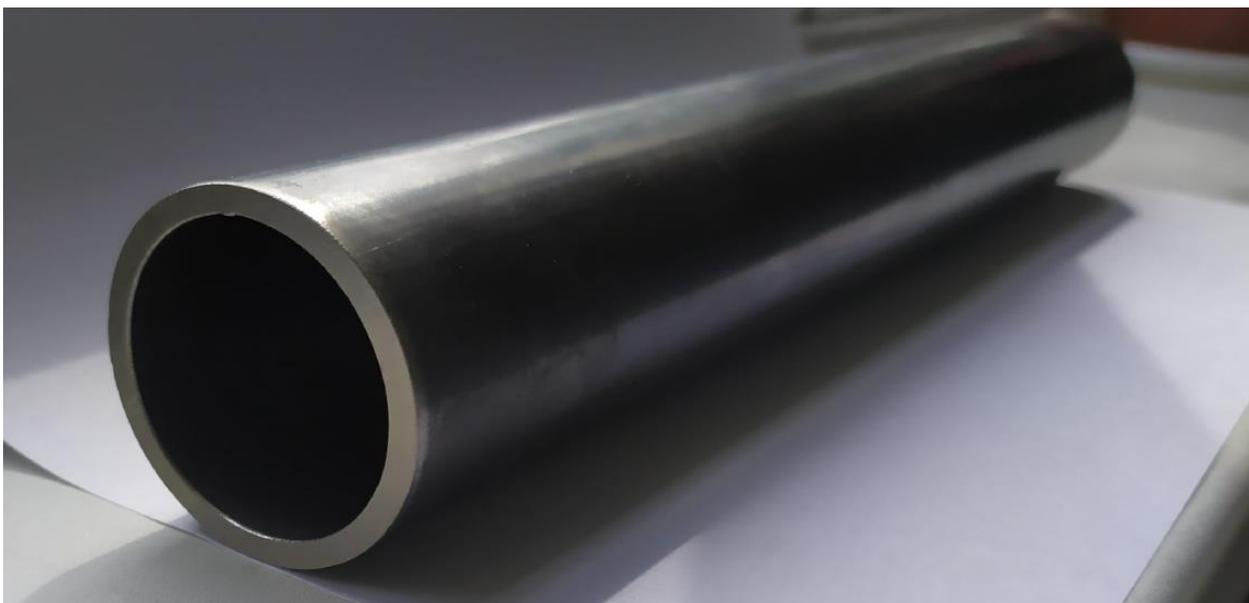


Рисунок 1 – Стальная электросварная труба круглого сечения

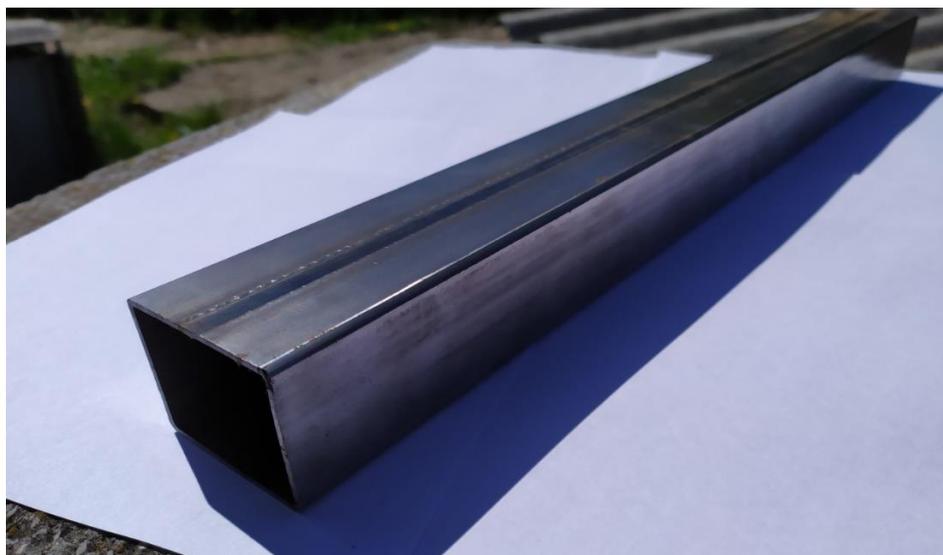


Рисунок 2 – Стальная электросварная труба профильного сечения

В большинстве случаев, заготовки из электросварных прямошовных труб (рис. 3) в дальнейшем подвергаются штамповке, сварке, токарной обработке. Из-за этого повышенное внимание уделяют сварному шву, так как он должен не только сохранять целостность во время проведения технологических операций над заготовкой, но и выдерживать нагрузки в течение срока эксплуатации. В некоторых нормативных документах, описывающих требования по изготовлению электросварной трубы, нет разделения характеристик для основного металла и металла шва, подразумевая тем самым, что свойства шва и основного металла должны быть одинаковы. Тем не менее, в стандарте для электросварной трубы может быть отдельно прописан порядок управления характеристиками сварочного шва.

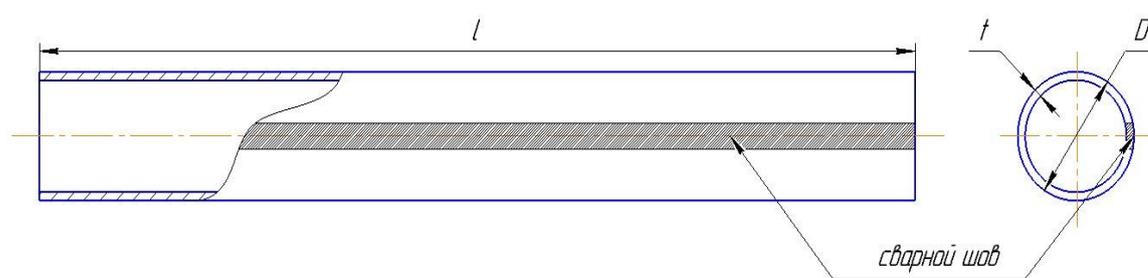


Рисунок 3 – Общий вид электросварной прямошовной трубной заготовки (эскиз).

Сварочный шов является конструкционной особенностью электросварной трубы. Отличительной чертой сварочного шва на рассматриваемых трубах является наличие или отсутствие грата (в зависимости от требований и допущений нормативной документации). Сварочный грат является вытесненным при сведении кромок в процессе ВЧ-сварки металлом, который может быть как внутренним, так и наружным (рис. 4). В основном, и наружный, и внутренний грат удаляются полностью, в связи с тем, что часто трубные заготовки являются элементами сборки и сопряжения (наружного и внутреннего), а наличие грата делает невозможным осуществление таких операций. Также грат может являться ребром жесткости, и при приложении изгибающей нагрузки его наличие может отрицательно повлиять на обрабатываемость всей заготовки [26].

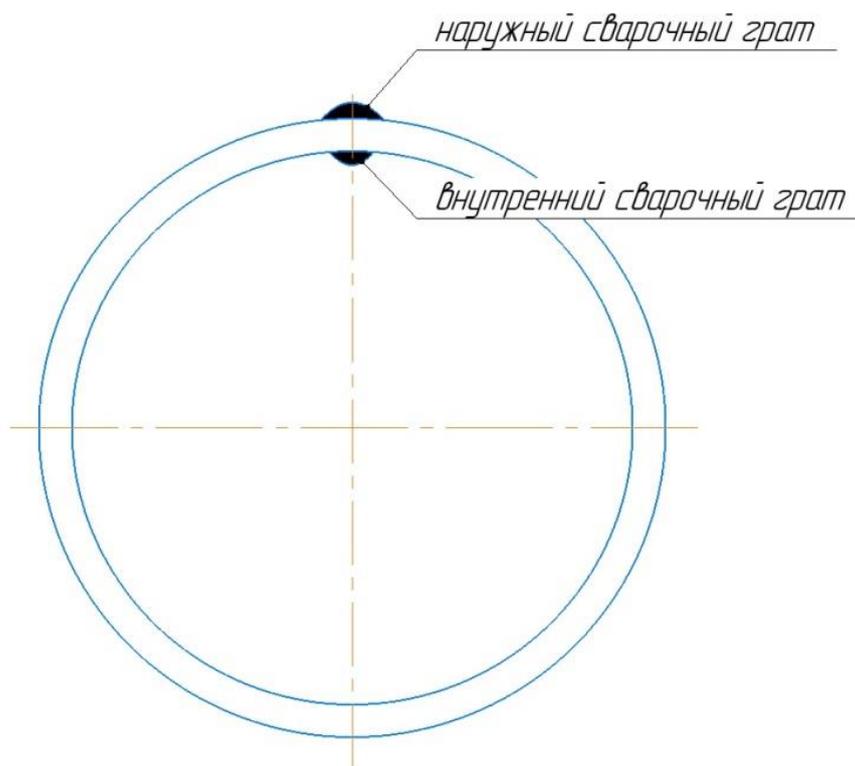


Рисунок 4 – Наружный и внутренний сварочный грат

Но при этом имеются случаи, когда грат не удаляется полностью и высота его регламентируется требованием руководящего документа или требованием заказчика (рис. 5). Стоит отметить, что процесс удаления грата не должен повреждать поверхность трубы и не должен выводить толщину стенки трубы за пределы поля допуска. Имеются случаи, когда вместо удаления (срезания) грата используется метод раскатки специальными роликами из термостойких сплавов. В данной технологии грат в вязкотекучем состоянии практически сразу после образования шва раскатывают по поверхности металла. Подобный метод хоть и является технологически более простым по сравнению с методом удалением грата резцом, тем не менее, он не позволяет добиться высокой точности геометрических параметров трубы, таких как диаметр, толщина стенки и цилиндричность, в зоне сварочного шва и околошовной зоны.

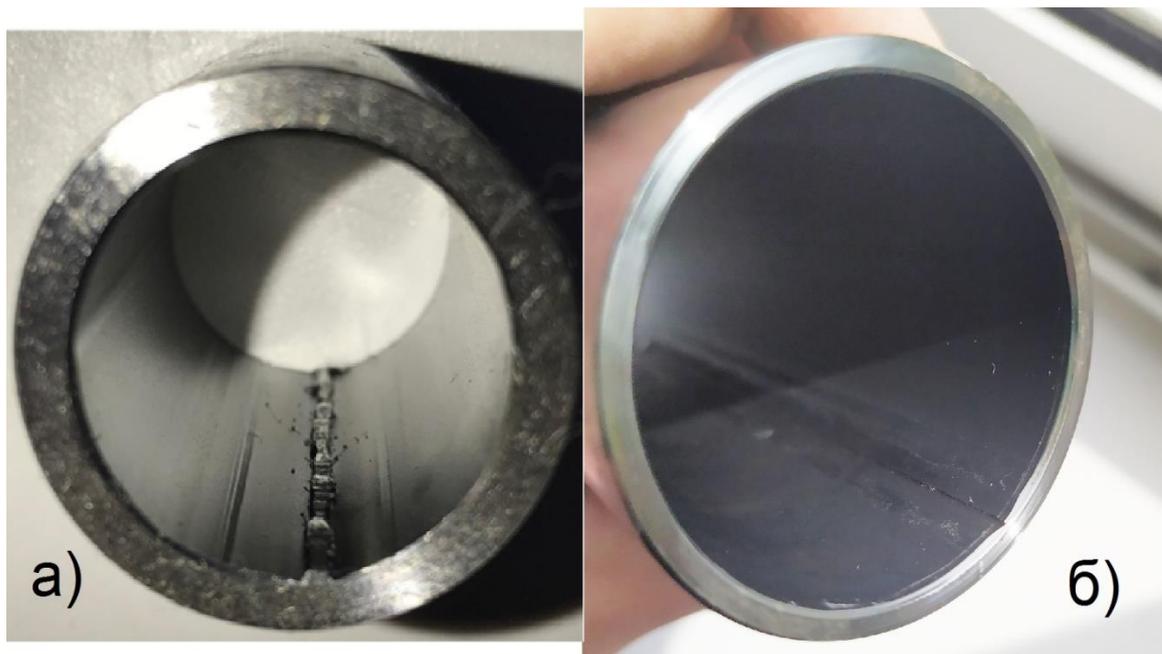


Рисунок 5 – Трубная заготовка с внутренним сварочным гратом (а) и без грата (б)

Торцы электросварных трубных заготовок также могут иметь внешние особенности. Зачастую торцы труб (заготовок) для автомобилестроения обрабатываются щеточными или фаскосъемными станками (рис. 6). Это

необходимо с точки зрения техники безопасности и дальнейших технологических операций, например – сборка, где наличие фасок на торцах заготовки объясняется вставкой заготовки в другое изделие.

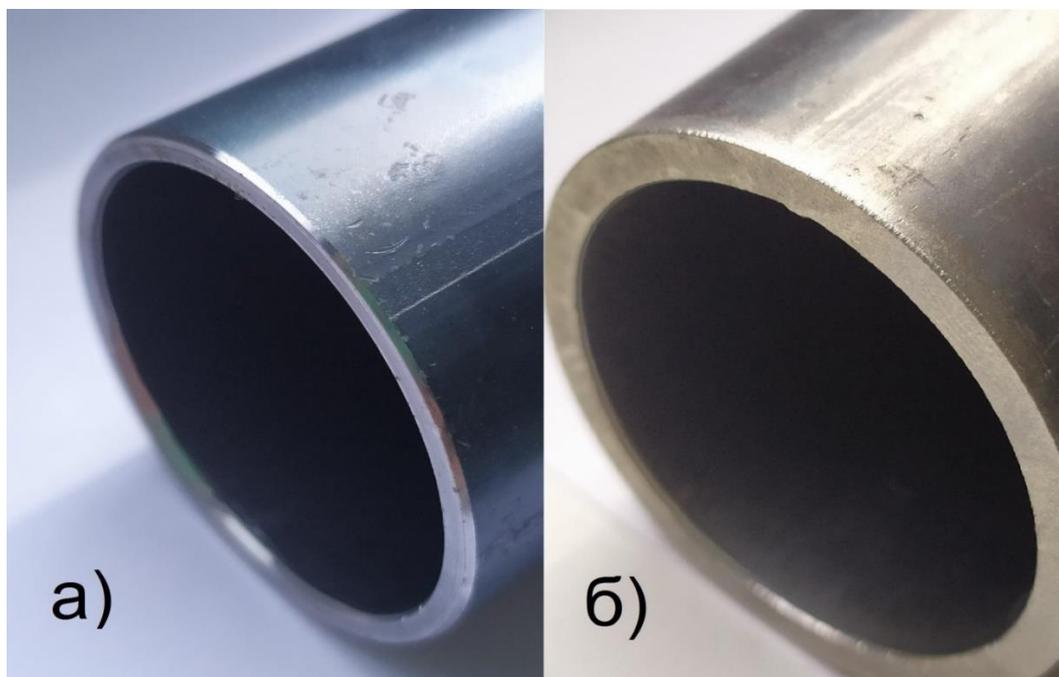


Рисунок 6 – Торец трубы после обработки на фаскосъемном (а) и щеточном станке (б)

Ниже рассмотрены несколько конструкций в виде автокомпонента из электросварных труб:

1) Поперечина панели приборов (рис. 7,8). Данная деталь является ответственными конструкционным кузовным элементом, который обеспечивает жесткость передней (салонной) части кузовной рамы, а также является каркасом для установки панели приборов и всей сопутствующей электротехники. Отверстия на поперечине необходимы для нескольких задач – для базирования на технологической оснастке на дальнейших операциях у заказчика, для установки жгутов электропроводов и для крепления кронштейнов (рис. 9) с целью получения поперечины панели в сборе.

Поперечина панели приборов должна обеспечивать жесткость конструкции в целом. Потеря жесткости в узле поперечины может привести

к деформации салонной части кузова, а в некоторых случаях - к причинению вреда здоровью водителя и пассажира. В связи с этим, зачастую автопроизводители определяют по отношению к этому изделию специальные характеристики и методики управления качеством [16].



Рисунок 7 – Поперечина панели приборов (фото)

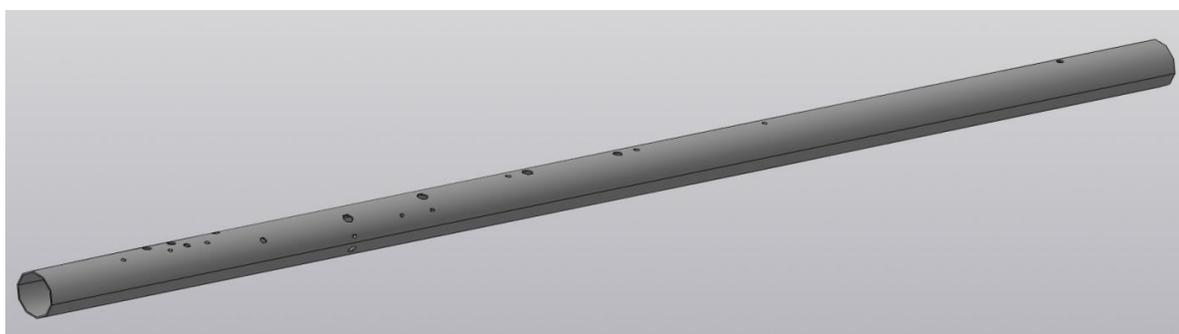


Рисунок 8 – Поперечина панели приборов (математическая модель)



Рисунок 9 – Поперечина панели приборов в сборе.

2) Брус безопасности передней двери (рис. 10). Данная деталь представляет собой конструкцию, состоящую из заготовки электросварной трубы и двух приваренных к ней кронштейнов. В зависимости от модели автомобиля форма и размеры заготовки и кронштейнов могут меняться, но

общая концепция, как на рис. 10, сохраняется. Брус безопасности устанавливается внутри дверного каркаса (рис. 11) и обеспечивает жесткость дверной конструкции, снижает ее деформацию в случае аварии и защищает пассажира от последствий бокового удара. В соответствии с этим, к прочностным показателям бруса предъявляются высокие требования. Крайне важно, чтобы труба не имела дефектов сварочного шва.



Рисунок 10 – Брус безопасности передней двери в сборе

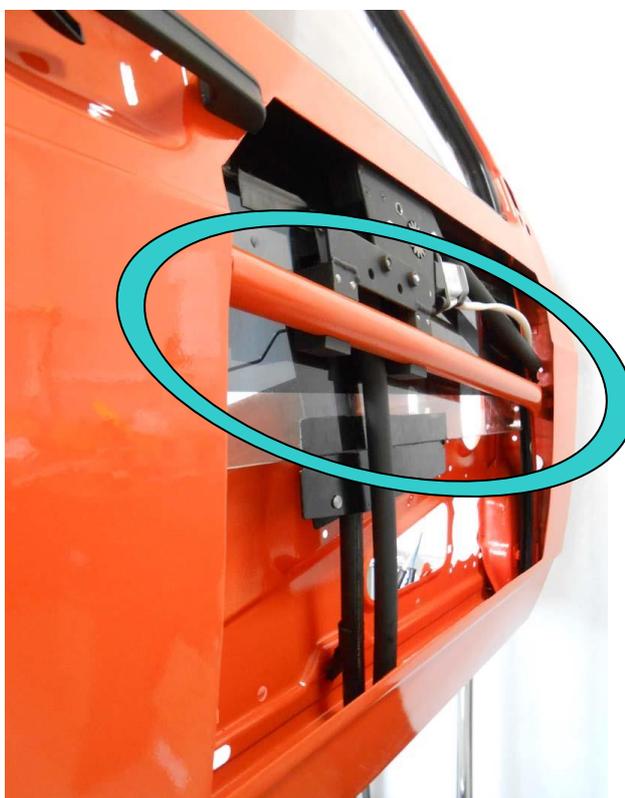


Рисунок 11 – Брус безопасности в составе двери автомобиля

3) Трубки в составе каркаса автомобильного кресла. Автомобильное кресло представляет собой сложную конструкцию, в состав которой входят компоненты из электросварных труб (рис. 12, 13).

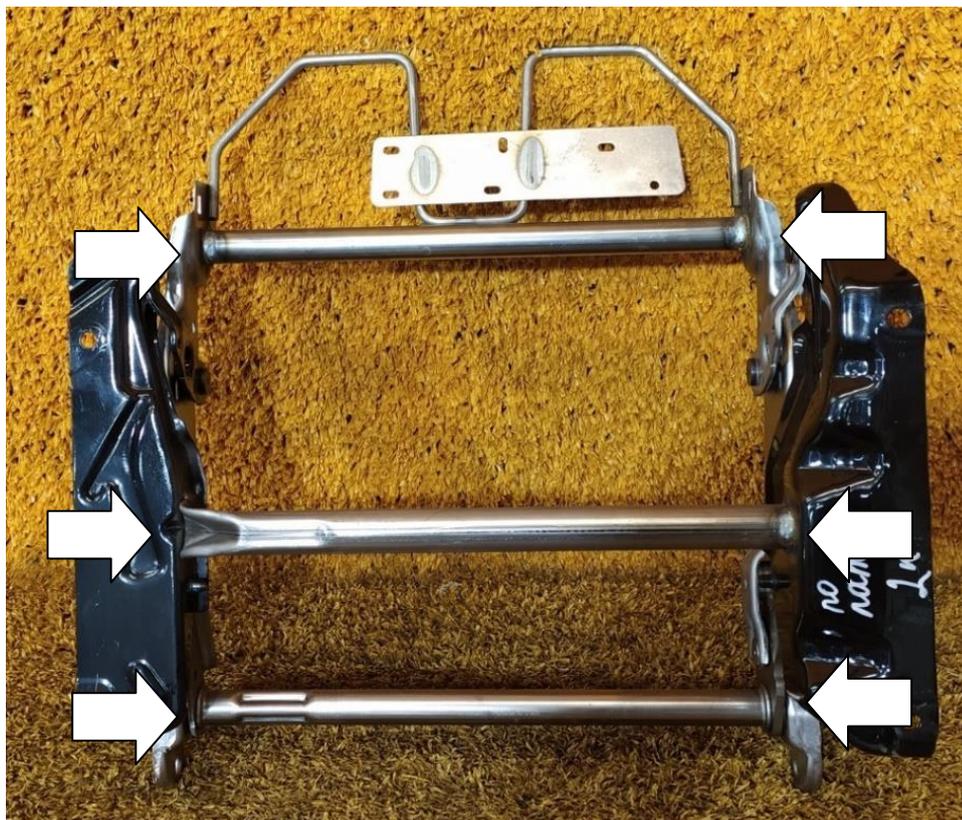


Рисунок 12 – Электросварные трубы в составе каркаса автомобильного сиденья

На рисунке 12 изображены трубы в каркасе сиденья. Можно заметить, что некоторые из них имеют сложные штамповочные элементы, которые обуславливаются функциональными требованиями. Соответственно, для изготовления подобных изделий используются стальные трубы с сочетанием высоких пластических и прочностных показателей. Как раз в данной работе рассматривается вопрос достижения таких показателей для трубок, используемых в каркасе сиденья. Для таких деталей показатели пластичности сварочного шва должны четко соответствовать установленным требованиям,

так как от состояния данных труб зависит целостность каркаса, а значит, и жизнь, и здоровье пассажира.



Рисунок 13 – Верхняя трубка каркаса спинки автомобильного кресла

Трубы в составе автомобильных кресел осуществляют функцию каркаса, обеспечивают устойчивость конструкции, являются связующими элементами между другими компонентами кресла. Например, на рисунке 13 изображена верхняя трубка спинки кресла, которая соединяет собой два боковых каркаса и является основой для установки подголовника (см. направляющие втулки).

4) Рычаг задней подвески (рис. 14) является одной из самых важных деталей шасси. Находясь в составе задней подвески автомобиля (рис. 15),

данная деталь претерпевает огромные нагрузки, исполняет роль гасителя колебаний при езде по неровной поверхности. При изготовлении трубной заготовки требуется уделять повышенное внимание к формированию шва, не допуская появления трещин и непроваров. Появление такого рода дефектов может привести автомобиль в аварийное состояние и создать риск для здоровья и жизни пассажира. В настоящее время данная деталь для отечественного автомобилестроения изготавливается по европейским стандартам. Требования, установленные в этих стандартах, не подразумевают отдельных показателей механических свойств для сварочного шва. Это говорит о том, что показатели прочности и текучести сварочного шва должны быть очень близки к показателям основного металла, и при этом быть в допустимых пределах. Данные требования обеспечиваются путем применения термической обработки (отжига) всей заготовки на специальных установках.



Рисунок 14 – Рычаг задней подвески

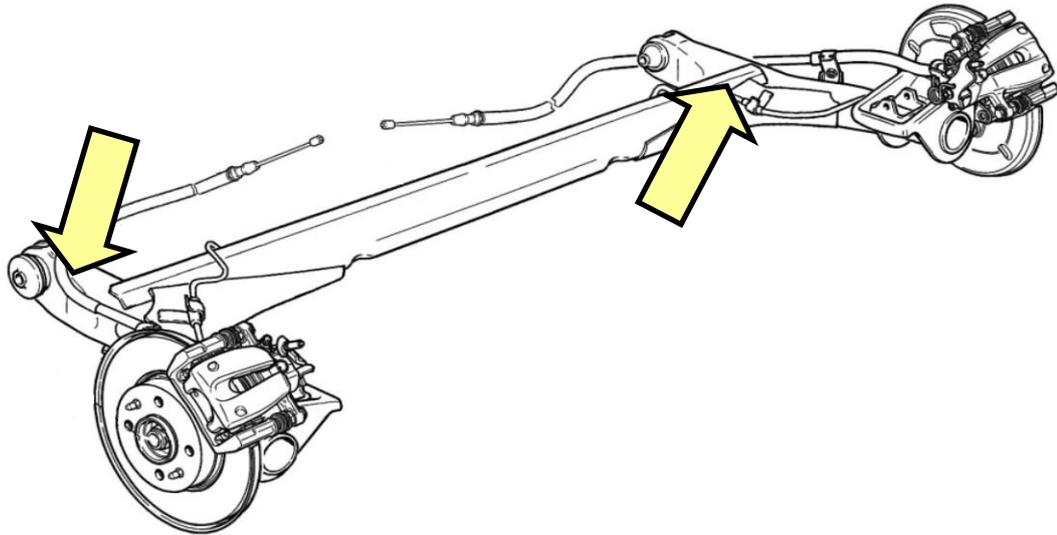


Рисунок 15 – Рычаги задней подвески (правый и левый) в составе заднего моста

1.1 Характеристики электросварных труб, используемых в автомобилестроении

Существуют несколько стандартов, описывающих требования к стальным электросварным прямошовным трубам. Имеются общие стандарты, которые описывают требования и технические условия для электросварных труб различного назначения, такие как ГОСТ, но также есть стандарты, относящиеся непосредственно к электросварным трубам, применяющихся в составе узлов автомобиля.

Российскими стандартами, по которым изготавливают стальные электросварные прямошовные трубы, являются ГОСТ 10705-80 (технические условия) и ГОСТ 10704-91 (сортамент). По ГОСТ 10705-80 изготавливаются трубы для трубопроводов и конструкций различного назначения, за исключением применения данных труб для изготовления теплонагревателей [1]. Машиностроение, в частности – автомобилестроение, не стало исключением. Ранее, на АО «АВТОВАЗ» использовались электросварные

трубные заготовки и изделия из них, сделанные исключительно по ГОСТ 10705-80. После внедрения практик и стандартов альянса «Рено-Ниссан» началось применение европейских стандартов EN 10305-3 (сварные цельнокатаные трубы круглого сечения) и EN 10305-5 (сварные профильные трубы) вместо отечественных. Тем не менее, ГОСТ 10705-80 полностью не ушел из употребления в отечественном автомобилестроении и его требования распространяются на некоторые детали автомобилей. Все остальные изделия из электросварных труб теперь нормируются EN 10305-3 и EN 10305-5. Как правило, данное изменение коснулось в первую очередь ответственных деталей и узлов, так как европейский стандарт имеет более жесточенные требования к свойствам электросварной трубы по сравнению с ГОСТ. Стоит отметить, что действие EN 10305-3(-5) распространяется именно на автомобилестроение и на машиностроение в целом. В данный момент отечественные и зарубежные заказчики электросварной трубы для автокомпонентов требуют руководствоваться стандартом EN.

Но помимо государственных и международных общепринятых стандартов, производитель автокомпонентов иногда применяет собственные стандарты, определяющие требования и условия к продукции, которую он хочет получить от поставщика. Так, например, международный изготовитель автомобильных кресел для отечественного и зарубежного автоконцерна – ООО «Форесия Автомотив Девелопмент» (далее – ФАД) имеет собственные стандарты для электросварных труб, применяемых для холодной штамповки. Данные стандарты они применяют на конкретных проектах исходя из технологических особенностей процесса изготовления каркасов кресел. В данной работе планируется рассмотреть требования стандарта ФАД TEF 320 по отношению к трубам отечественного производства. До нынешнего момента данный стандарт применялся к импортным электросварным трубам.

ГОСТ 10705-80 и EN 10305-3 в качестве характеристик определяют механические свойства (предел прочности, предел текучести, относительное

удлинение) и химический состав. ТЕР 320, как более узконаправленный нормативный документ (применяется для труб диаметром 20 мм, 25 мм, 28 мм и 30 мм), определяет больше конкретных значений характеристик и показателей, таких как твердость сварного шва, микроструктура, величина углерода эквивалентного, размеры труб после испытаний на раздачу конусом и сплющивание. При этом, стандарт ТЕР 320 ссылается на требования EN 10305-3 по отклонениям и допускам геометрическим размеров трубы.

Ниже в таблице 1 предоставлены характеристики, нормированные ГОСТ 10705-80.

Таблица 1 – Механические свойства основного металла труб диаметром от 10 до 152 мм включительно без термической обработки и с термической обработкой сварного соединения [1]

Марка стали	Предел прочности σ_b , МПа, при наружном диаметре труб D, мм			Предел текучести σ_t , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %, при наружном диаметре труб D, мм		
	от 10 до 19	св. 19 до 60	св. 60 до 152		От 10 до 60 при толщине стенки		Св. 60 до 152
					более 0,06D	0,06D и менее	
	не менее						
08Ю, 08пс, 08кп	314	294	264	176	7	16	25
Ст1пс, Ст1кп	372	314	294	176	6	15	23
08, Ст1сп	372	314	294	186	6	15	23
10кп, Ст2кп	372	333	314	176	6	15	23
10пс, Ст2пс	372	333	314	186	6	15	23
10, Ст2сп	372	333	314	196	6	15	23
15кп	441	372	353	186	5	14	21
15пс, 20кп	441	372	353	196	5	14	21
15, 20пс	441	372	353	206	5	14	21
20	441	372	353	216	5	14	21
Ст3кп	441	392	372	196	5	13	20
Ст3пс	441	392	372	206	5	13	20
Ст3сп	441	392	372	216	5	13	20
Ст4кп, Ст4пс	490	431	412	216	4	11	19
Ст4сп	490	431	412	225	4	11	19

По ГОСТ 10705-80 химический состав регламентируется, ссылаясь на ГОСТ 1050-2013 (для спокойных, полуспокойных и кипящих сталей 08, 10, 15, 20), ГОСТ 380-2005 (для спокойных, полуспокойных и кипящих сталей Ст1, Ст2, Ст3, Ст4) и на ГОСТ 9045-93 для стали 08Ю [1]. Химический состав сталей, указанных в таблице 1, указан в сводной таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав сталей, указанных в ГОСТ 10705-80, по стандартам ГОСТ 1050-2013, ГОСТ 380-2005 и ГОСТ 9045-93 [2; 3; 4]

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
	не более								
08Ю	≤ 0,07	≤ 0,03	≤ 0,35	≤ 0,02	≤ 0,025	н/н	н/н	н/н	≤ 0,07
08пс	0,05-0,11	0,05-0,17	0,35-0,65	0,030	0,035	0,10	0,30	0,30	н/н
08кп	0,05-0,12	≤ 0,03	0,25-0,50	0,030	0,035	0,10	0,30	0,30	н/н
08	0,05-0,12	0,17-0,37	0,35-0,65	0,030	0,035	0,10	0,30	0,30	н/н
10кп	0,07-0,14	≤ 0,07	0,25-0,50	0,030	0,035	0,15	0,30	0,30	н/н
10пс	0,07-0,14	0,05-0,17	0,35-0,65	0,030	0,035	0,15	0,30	0,30	н/н
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	0,030	0,035	0,15	0,30	0,30	н/н
15кп	0,12-0,19	≤ 0,07	0,25-0,5	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30	н/н
15пс	0,12-0,19	0,05-0,17	0,35-0,65	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30	н/н
15	0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,65	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30	н/н
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30	н/н
20кп	0,17-0,24	≤ 0,07	0,25-0,50	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30	н/н
20пс	0,17-0,24	0,05-0,17	0,35-0,65	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30	н/н
Ст1кп	0,06-0,12	0,25-0,50	≤ 0,05	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст1пс	0,06-0,12	0,25-0,50	0,05-0,15	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст1сп	0,06-0,12	0,25-0,50	0,15-0,30	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст2кп	0,09-0,15	0,25-0,50	≤ 0,05	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст2пс	0,09-0,15	0,25-0,50	0,05-0,15	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст2сп	0,09-0,15	0,25-0,50	0,15-0,30	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст3кп	0,14-0,22	0,30-0,60	≤ 0,05	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст3пс	0,14-0,22	0,40-0,65	0,05-0,15	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст3сп	0,14-0,22	0,40-0,65	0,15-0,30	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст4кп	0,18-0,27	0,40-0,70	≤ 0,05	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст4пс	0,18-0,27	0,40-0,70	0,15-0,30	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н
Ст4сп	0,18-0,27	0,40-0,70	0,15-0,30	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н

EN 10305-3 описывает несколько состояний поставки труб для отдельно взятого перечня нелегированных высококачественных сталей [5]. Состояние поставки определяет свойства поставляемого материала. По нему

можно определить процесс изготовления трубы. В таблице 3 представлены состояния поставки, которые используются в стандарте EN 10305-3.

Таблица 3 – Состояния поставки электросварных труб по стандарту EN 10305-3 [5]

Название состояния	Символ	Описание
Сварной и цельнокатаный	+CR1	Обычно без термической обработки, но может быть предназначен для конечного отжига.
	+CR2	Термическая обработка после сварки не предусмотрена.
Закаленный	+A	После сварки трубы закаливаются под контролем атмосферы.
Нормализованный	+N	После сварки трубы нормализуются под контролем атмосферы.

Как уже было сказано ранее, EN 10305-3 подразумевает определенный перечень сталей. Данный перечень с указанием химических составов сталей указан в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав сталей, используемых для изготовления электросварных прямошовных труб по EN 10305-3 [5]

Марка стали		Массовые доли в %				
Короткое название	Номер материала	C, max	Si, max	Mn, max	P, max	S, max
E155	1.0033	0,11+0,02	0,35+0,05	0,70+0,10	0,025+0,005	0,025+0,005
E190	1.0031	0,10+0,02				
E195	1.0034	0,15+0,02	0,35+0,05	0,70+0,10	0,025+0,005	0,025+0,005
E220	1.0215	0,14+0,02				
E235	1.0308	0,17+0,02	0,35+0,05	1,20+0,10	0,025+0,005	0,025+0,005
E260	1.0220	0,16+0,02				
E275	1.0225	0,21+0,02	0,35+0,05	1,40+0,10	0,025+0,005	0,025+0,005
E320	1.0237	0,20+0,02				
E355*	1.0580	0,22+0,02	0,35+0,05	1,60+0,10	0,025+0,005	0,025+0,005
E370*	1.0261	0,21+0,02				
E420*	1.0575	0,16+0,02	0,50+0,05	1,70+0,10	0,025+0,005	0,025+0,005

* - Добавки Nb, Ti и V допускаются по желанию производителя. Массовые доли уточняются.

Используя информацию таблиц 3 и 4, можно составить полное описание материала, которое состоит из указания марки стали и состоянии поставки. Например, требуется марка материала – E235+N. Из этой информации известно, что необходимо получить материал E235 с последующей нормализацией. Механические свойства для вышеуказанных материалов и состояний поставки указаны в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Механические свойства при комнатной температуре при состоянии поставки +CR1, +A, +N по стандарту EN 10305-3 [5]

Марка стали		Минимальные значения состояния поставки						
Короткое название	Номер материала	+CR1		+A		+N		
		Rm (σ_B), МПа	A (δ_5), %	Rm (σ_B), МПа	A (δ_5), %	Rm (σ_B), МПа	R _{eH} (σ_{TB}), МПа	A (δ_5), %
E155	1.0033	290	15	260	28	270-410	155	28
E195	1.0034	330	8	290	28	300-440	195	28
E235	1.0308	390	7	315	25	340-480	235	25
E275	1.0225	440	6	390	21	410-630	275	21
E355	1.0580	540	5	450	22	490-630	355	22

- Rm – предел прочности; ReH – верхний предел текучести.
- В зависимости от градуса холодного формования при холодной формовке ленты и при прокатке труб предел текучести может достигать предела прочности. Для расчета состояния поставки +CR1 предлагаются следующие значения для предела текучести R_{eH} $\geq 0,7Rm$;
- Механические и технологические свойства сварного шва в состоянии +CR1 и +A могут отличаться от соответствующих свойств основного материала;
- У труб с внешним диаметром ≤ 30 мм и толщиной стенки ≤ 3 мм минимальные значения R_{eH} на 10 МПа ниже, чем приведено в этой таблице.

Таблица 6 – Механические свойства (минимальные значения) при комнатной температуре для состояния поставки +CR2 по стандарту EN 10305-3 [5]

Марка стали		Предел прочности Rm (σ_B), МПа	Предел текучести R _{сН} (σ_{TB}), МПа	Относительное удлинение A (δ_5), %
Короткое название	Номер материала			
E190	1.0031	270	190	26
E220	1.0215	310	220	23
E260	1.0220	340	260	21
E320	1.0237	410	320	19
E370	1.0261	450	370	15
E420	1.0575	490	420	12

- Механические и технологические свойства сварного шва в состоянии могут отличаться от соответствующих свойств основного материала.

Исходя из вышеописанных данных, можно сделать вывод, что ГОСТ 10705-80 и EN 10305-3 описывают характеристики и технические условия для очень похожих групп сталей. Это можно увидеть по сходствам в химическом составе и механических свойствах. В совокупности это говорит о том, что теоретически, труба, изготовленная по ГОСТ 10705-80, может быть применена под определенно выбранные требования стандарта EN 10305-3, и наоборот.

Стандарт материала TEF 320 подразумевает более конкретные и четкие границы требований и методик контроля, так как он нормирует определенный материал для труб, обрабатываемых штамповкой. В данном случае нет уверенности в том, что изготовленная по ГОСТ 10705-80 труба будет хотя бы частично соответствовать требованиям TEF 320 без дополнительной обработки.

Требования к механическим свойствам по данному стандарту указаны в таблице 7, требования к химическому составу – в таблице 8. Испытания по определению механических свойств должны проводиться в соответствии с ISO 6892-1 (аналогичный российский стандарт – ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение»).

Таблица 7 – Требования к механическим свойствам электросварной трубы по стандарту ТEF 320 [6]

Предел прочности, МПа	Rm (σ_B)	400-460
Предел текучести условный, МПа	Rp _{0.2} ($\sigma_{0.2}$)	320-380
Относительное удлинение, %	A ₅	≥ 25
Удлинение на разрыв, %	Ag	≥ 10

Таблица 8 – Требования к химическому составу электросварной трубы по стандарту ТEF 320 [6].

Элемент	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr+Mo	Nb+Ti	B
Min	-	-	-	-	-	0,015	-	-	-
Max	0,10	0,50	1,10	0,025	0,025	-	0,5	0,22	0,005

Также по данному стандарту требуется производить расчет углерода эквивалентного по следующей формуле (рис. 16). Расчетная величина углерода эквивалентного не должна превышать 0,45 [6].

$$C_{Eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Рисунок 16 – Формула для расчета углерода эквивалентного

По стандарту ТEF 320 необходимо определять микроструктуру основного металла. Структура должна быть однородной и иметь рекристаллизованные зерна, как показано на рисунке 17. Величина обезуглероженного слоя не должна превышать 0,05 мм [6].



Рисунок 17 – Требуемая микроструктура стали по стандарту TEF 320 [6]

Немаловажными требованиями в стандарте TEF 320 являются испытание (тест) трубы на раздачу конусом и испытание на сплющивание. Конус для испытания должен иметь величину угла при вершине 60° . Тест прекращается при достижении требуемой величины розданного диаметра или при появлении трещин на сварочном шве трубы. По данному стандарту величина диаметра после раздачи (D) должна превышать диаметр до раздачи (d) минимум на 50%. Требуемые величины для раздачи труб указаны в таблице 9 [6].

Таблица 9 – Величины наружных диаметров после испытания на раздачу по стандарту TEF 320 [6]

Наружный диаметр трубы и толщина стенки, мм	Требуемое увеличение диаметра в процессе испытания без появления трещин, %	Минимальный требуемый наружный диаметр после раздачи, мм
20x1,25	минимум 50	30
20x1,5	минимум 50	30
25x1,5	минимум 50	38
28x1,5	минимум 50	42
28x2,0	минимум 50	42
30x2,0	минимум 50	45

Испытание на сплющивание проводится в соответствии с ISO 8492, российский аналог стандарта – ГОСТ 8695-75 «Трубы. Метод испытания на сплющивание». Суть испытания сводится к сплющиванию небольшого участка трубы, таким образом, чтобы сварочный шов оказался на полученном изгибе. Шов не должен иметь визуально определяемых трещин.

Последней определяемой характеристикой по требованиям стандарта ТЕР 320 является твердость сварочного шва. По данным стандарта, твердость сварочного шва не должна превышать 160 HV1 (по Виккерсу) [6]. Допускается определять твердость по шкалам Бринелля и Роквелла, переводя полученные значения в шкалу Виккерса, используя справочные переводные таблицы.

В заключение стоит отметить тот факт, что подобная конкретизация характеристик и требований стандарта ТЕР 320 объясняется точно установленным понятием применения данного типа труб.

1.2. Анализ дефектов электросварных прямошовных труб

Как и любое другое изделие, электросварные прямошовные трубы имеют ряд характерных дефектов. В этом разделе рассмотрены основные дефекты, появляющиеся при изготовлении электросварных труб для автомобилестроения. Описанные ниже дефекты по большей части являются недопустимыми, но некоторые из них можно устранить путем применения доработки.

1) Непровар сварочного шва (рис. 18). Данный дефект является наиболее распространенным при изготовлении электросварных труб. Причин для его появления может быть несколько и, зачастую, все они – технологические. Редко появление непровара при высокочастотной сварке стальных низкоуглеродистых труб является следствием неких отклонений в свойствах исходного материала. Недостаточная частота тока, и, следовательно, недостаточное тепловложение в сварочной зоне – самая

распространенная причина появления непровара. Помимо величины частоты тока на образование такого дефекта при высокочастотной сварке прямошовных труб могут влиять недостаточная сила сжатия кромок сварочными валками, высокая скорость сварки, незавершенная формовка профиля трубы в формовочной клети. Все это является следствием несоблюдения технологических предписаний по наладке и запуску оборудования [25].



Рисунок 18 – Непровар сварочного шва на электросварной трубе

Также непровар может быть внутренним и выявить его можно только путем лабораторного изучения (рис. 19). Косвенным признаком наличия внутреннего непровара может быть появление трещин на шве в процессе испытаний на раздачу и сплющивание. Появление именно такого непровара может быть объяснено наличием загрязнений и точечных очагов коррозии на кромках ленты. Также выявить внутренний непровар может вихретоковый дефектоскоп, находящийся в составе трубоэлектросварочного стана. В основном, вихретоковым дефектоскопом выявляются внутренние продольные трещины, так что существует вероятность необнаружения

точечных непроваров. Непровар, как видимый, так и внутренний, не исправляется из-за невозможности вновь установить дефектный участок трубы в линию трубосварочного стана.

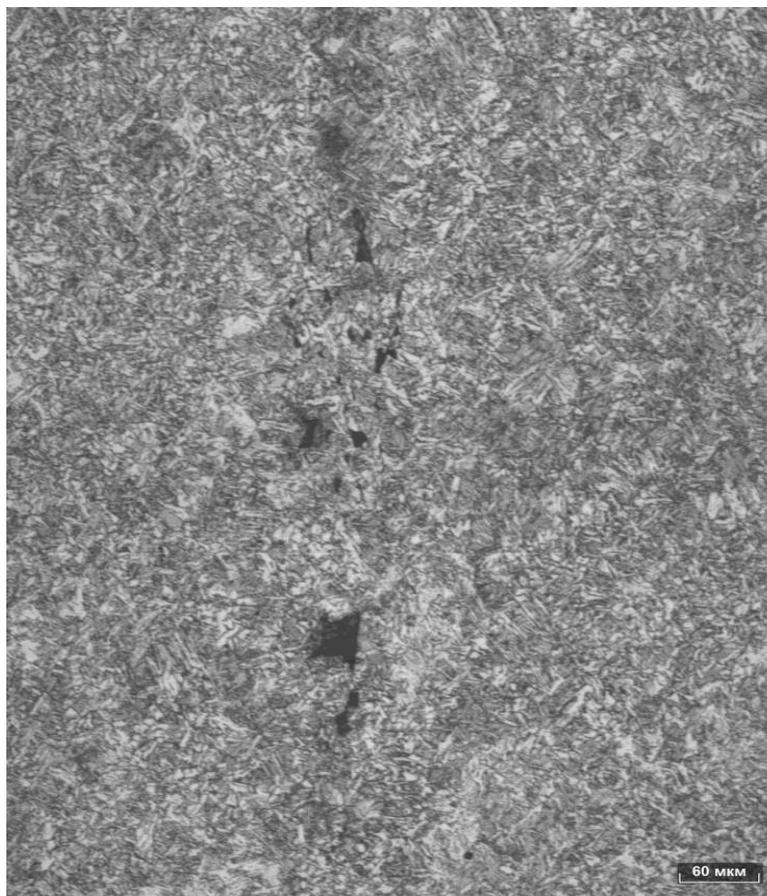


Рисунок 19 – Внутренний непровар сварочного шва электросварной трубы

2) Смещение кромок (рис. 20). Редкий, но от того не менее важный дефект. Причина его появления – неправильно произведенная наладка формовочной и сварочной группы валков трубосварочного стана. Как правило, данный дефект устраняется еще на этапе наладки и запуска. Но также он может появиться и в процессе потокового производства, что будет являться сигналом об отклонении в работе оснастки (валков) [24]. В таких случаях, работа стана останавливается, дефектный участок вырезается, производится повторный запуск с последующей валидацией качества. Смещение кромок является протяженным дефектом и его легко выявлять. Засчет этого его устранение происходит в пределах участка изготовления

трубы и исключается возможность его выявления на уже готовых изделиях. Данный дефект не исправляется, так как при его появлении нарушается наружная и внутренняя геометрия профиля трубы.

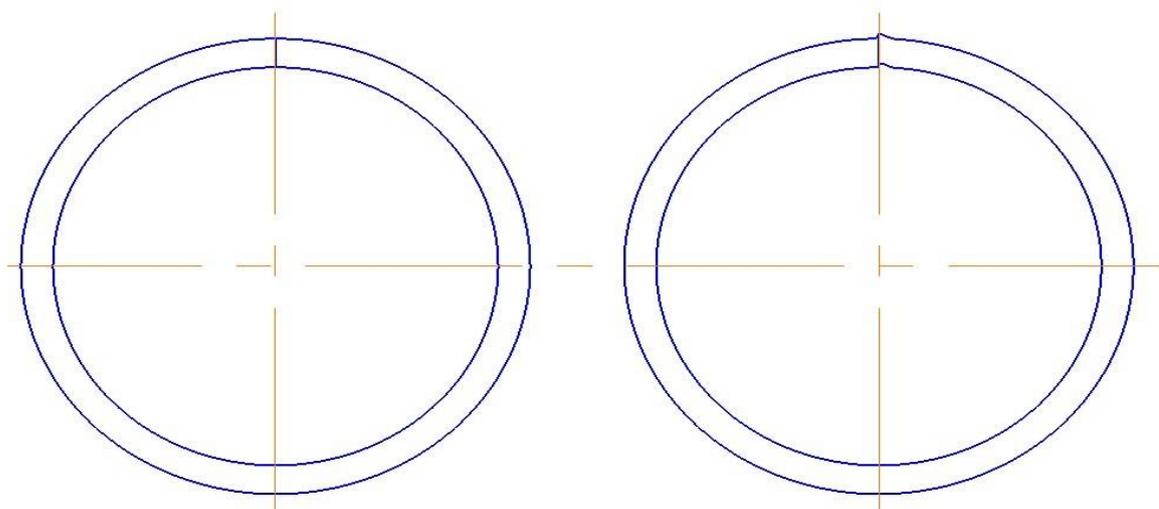


Рисунок 20 – Смещение кромок трубы (вид с торца)

3) Вмятина (рис. 21). Дефект, который может появиться как в процессе изготовления трубы на сварочном стане, так и на последующих технологических операциях. В случае сварки трубы причиной появления такого дефекта может быть наличие твердотельных загрязнений, таких как крупная металлическая стружка. Также вмятина может образоваться в случае неправильного сброса трубы с рольганга в накопитель. Данный дефект является неисправимым.



Рисунок 21 – Вмятины на поверхности электросварной трубы

4) Коррозия (рис. 22). Характерный для конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей дефект. Может проявиться на всех этапах производства и дальнейшей эксплуатации. Если рассматривать только этап производства трубы, то причин появления очагов коррозии может быть несколько – щелочность раствора (Ph) СОЖ при сварке и порезке, неправильные условия хранения металла до и после сварки (высокая влажность, низкая точка росы в помещении). Данный дефект может быть исправлен путем применения мойки труб в ваннах с растворами травления либо абразивной зачисткой с последующей шлифовкой. Предупреждающей мерой появления коррозии при производстве труб является применение консервационной смазки. Тем же методом пользуются изготовители металлопроката.

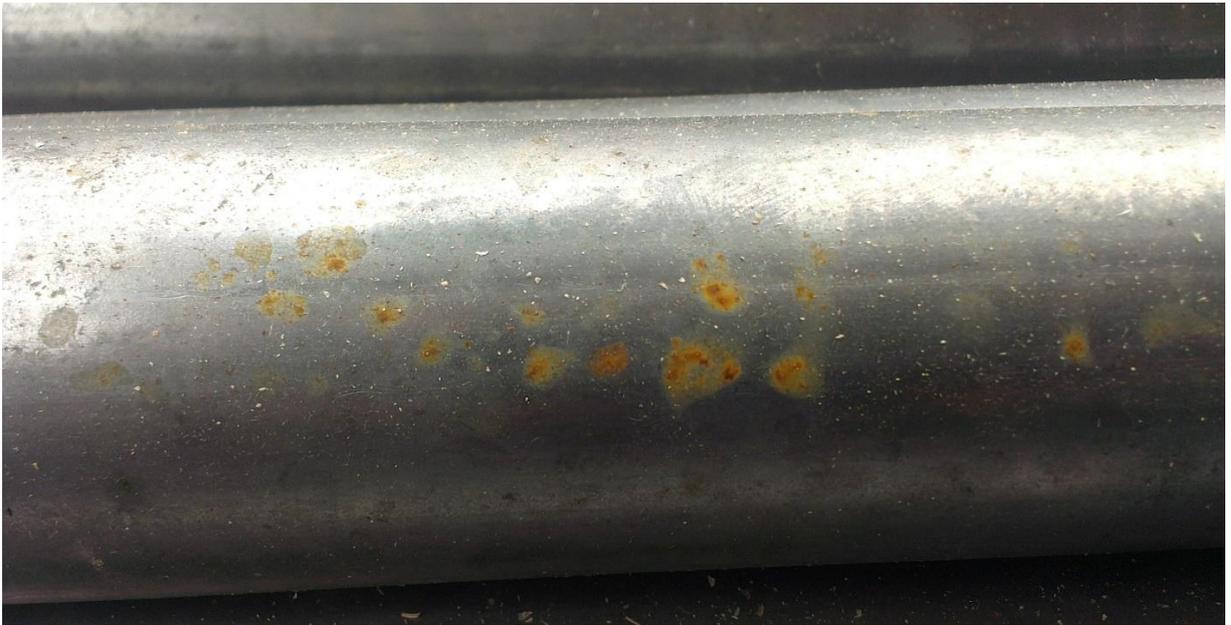


Рисунок 22 – Очаги коррозии на поверхности трубы

5) Овальность (рис. 23). Данный дефект появляется преимущественно на этапе трубосварки. Причина его появления – некорректная настройка калибровочных клетей трубоэлектросварочного стана. Но также этот дефект может появиться в процессе порезки на отрезных линиях из-за сильного зажатия трубы в оснастке (в зажимных губках). Овальность труб исправляется в специальных калибровочных косовалковых машинах.

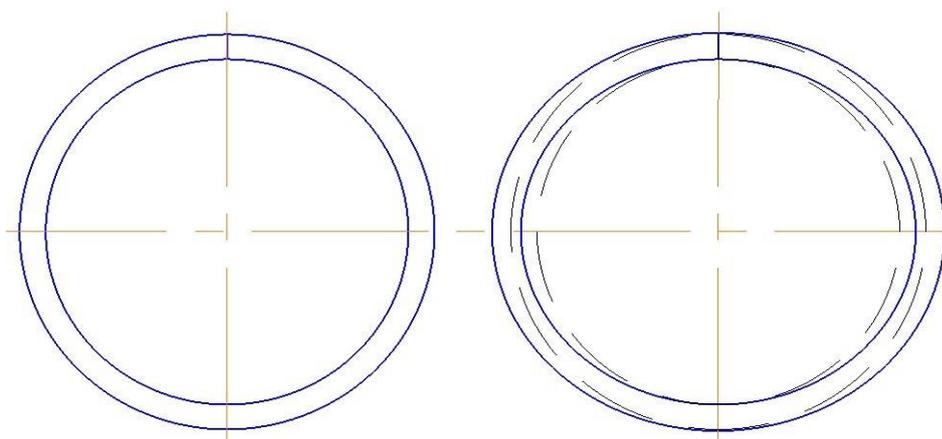


Рисунок 23 – Овальность круглой трубы (вид с торца)

1.3. Проблемы применения электросварных прямошовных труб в отечественном машиностроении

В связи с активным курсом отечественного автопрома на зарубежный рынок для производителей автокомпонентов открывается множество новых перспектив и проектов. Но для того, чтобы соответствовать зарубежным требованиям по качеству, необходимо работать по иностранным стандартам, которые очевидно различаются с отечественными. Точно также обстоит ситуация в случае локализации иностранного производства в России. Европейские производства по изготовлению автокомпонентов, локализованные с недавнего времени в России, работали и работают по европейским нормам и требуют от своих российских поставщиков того же.

Как правило, зарубежные стандарты подразумевают применение зарубежных материалов. Но российский рынок металла не так богат иностранными марками стали, что создает проблему при локализации того или иного зарубежного проекта. Со стороны заказчика цель локализации проекта в России – экономия затрат за закупку комплектующих для своего производства. Это происходит за счет того, что в России более низкая стоимость человеческого труда, слабая валюта и низкие налоговые обложения.

Со стороны российского поставщика, цель локализация – это предложить самую привлекательную цену за изделие и выиграть тендер на поставку. Зачастую так и происходит – российский поставщик выигрывает у импортного поставщика за счет факторов, описанных выше. Но бывают прецеденты, когда цена российского производителя не может конкурировать с импортом. Это происходит из-за того, что цена иностранного металла слишком высока сама по себе и становится еще дороже из-за таможенных издержек (логистики) и меняющегося курса валют, а использовать более дешевый отечественный материал не позволяют требования и ограничения зарубежных стандартов.

Вышеописанная проблема не обошла стороной производство электросварных труб для автомобилестроения. Как уже было сказано в разделе 1.1, зарубежный стандарт EN 10305-3 начал вытеснять отечественный ГОСТ 10705-80. Чтобы соответствовать требованиям EN 10305-3, производителям электросварных труб пришлось закупать импортный металл для обеспечения требований стандарта. Но при этом в некоторых случаях удавалось локализовать проект, используя отечественные стали по ГОСТ 10705-80, из-за схожести требуемых характеристик (см. раздел 1.1).

В случае локализации проекта со стандартом TEF 320 изначально использовалась импортная марка стали, прокат из которой делается в России – HC340LA – низкоуглеродистая конструкционная сталь. Данный материал использовался по рекомендации заказчика, но после испытаний первой партии на соответствие требованиям TEF 320 стало понятно, что данная сталь не подходит, так как показатели механических свойств превышают необходимые значения. На основании этого было решено искать технологические пути решения проблемы с использованием отечественных материалов.

1.4. Анализ возможных решений проблем применения электросварных труб в отечественном машиностроении

Чтобы найти решение проблемы применения электросварных труб под требования стандарта TEF 320 необходимо рассмотреть имеющиеся варианты.

Вариант первый – найти материал, который обеспечит требуемые свойства. Опыт показал, что нельзя слепо доверять установленным изготовителями металла характеристикам, так как для большинства марок сталей характерно изменение этих характеристик в процессе сварки труб – за счет пластических деформаций при формообразовании круглого профиля.

Также произошло и со сталью HC340LA – ее механические свойства в холоднокатаном прокате соответствовали стандарту TEF 320, но уже после сварки механические свойства возросли и оказались за пределами допустимых значений.

Японская и китайская металлургические промышленности могут предложить стали, которые теоретически можно будет применить при изготовлении трубы по стандарту TEF 320. Но стоимость данных сталей слишком высока и не позволяет конкурировать по цене.

Второй вариант – применение термообработки (отжига) на трубах их стали HC340LA. Такой вариант был проработан и не принес результатов, механические свойства понизить не удалось на имеющемся оборудовании. На рисунке 24 можно увидеть ход экспериментов со сталью HC340LA, начиная с испытаний на прокате, заканчивая работами с термической обработкой. Все исследования проводились в исследовательском центре АО «АвтоВАЗ».

Информация по отклонению свойств металла HC340LA после сварки				
Механические свойства листового металла		Механические свойства в трубе Ø25x1,5 без термообработки		
		Тело	Шов	
Предел прочности R _m , МПа	446-453	Предел прочности R _m , МПа	442-448	502-503
Предел текучести R _{p0,2} , МПа	354-356	Предел текучести R _{p0,2} , МПа	420-427	473-487
Относительное удлинение A, %	29	Относительное удлинение A, %	18	14,5
Результаты исследований трубы Ø25x1,5 (HC340LA) после отжига				
Температура отжига t = 600 C	Тело	Шов		
Предел прочности R _m , МПа	489,4	543,5		
Предел текучести R _{p0,2} , МПа	454,9	511,4		
Относительное удлинение A, %	10	13		
Температура отжига t = 650 C	Тело	Шов		
Предел прочности R _m , МПа	470,5	535,3		
Предел текучести R _{p0,2} , МПа	466,9	490,5		
Относительное удлинение A, %	12	14		
Температура отжига t = 700 C	Тело	Шов		
Предел прочности R _m , МПа	475,5	553,6		
Предел текучести R _{p0,2} , МПа	453,0	512,6		
Относительное удлинение A, %	11	8		
Требования TEF 320				
Tensile Strength	R _m	400 -460 МПа		
Yield Strength	R _{p0,2}	320 - 380 МПа		
Elongation at break	A 5.65√S ₀ for T/D < 0.08	min. 25 %		
Uniform Elongation	Ag T/D < 0.08	min. 10 %		

Рисунок 24 – Результаты экспериментов со сталью HC340LA

Третий вариант – использовать отечественный материал с последующей термической обработкой (закалкой на воду). Предлагается использовать сталь 08Ю, так как согласно справочным данным [4], химический состав этой стали максимально близок к требованиям стандарта ТЕМ 320, по большей части за счет необходимого содержания алюминия. Сталь 08Ю считается одной из самых доступных на металлургическом рынке и ее стоимость позволяет предложить конкурентную цену, несмотря на появление дополнительной технологической операции – термообработки.

Применение закалки после сварки необходимо для повышения значений механических свойств, так как механические свойства стали 08Ю ниже требуемых стандартом, как в состоянии листового металла, так и после сварки.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать основные задачи выпускной квалификационной работы:

- 1) Определить методику и порядок экспериментальных работ по достижению необходимых свойств на электросварных трубах из стали 08Ю;
- 2) Провести экспериментальные работы с несколькими технологическими режимами по достижению необходимых свойств на электросварных трубах из стали 08Ю;
- 3) Провести исследования на трубах, полученных в ходе экспериментальных работ, на соответствие стандарту ТЕМ 320;
- 4) Разработать технологию изготовления электросварных трубных заготовок с соответствием стандарту ТЕМ 320.

2 Исследование процессов сварки труб и их обработки токами высокой частоты

Способ высокочастотной сварки стальных труб начали применять в сороковые годы XX века в СССР. Известно, что первая попытка использовать токи высокой частоты с целью нагрева для сварки была сделана в 1944 году в лаборатории профессора В.П. Вологодина. Тогда был опробован процесс стыковой сварки труб, особенностью которого было то, что на торцах свариваемых труб ток имел одинаковое направление [27].

С того момента в нашей стране постоянно происходило совершенствование процесса высокочастотной сварки стальных труб. Были разработаны и внедрены в промышленные отрасли новые способы изготовления. Нынешнее многообразие высокочастотной сварки труб заключается в различных методах передачи тока к свариваемым поверхностям, в конструкционных вариантах индуктора и сопутствующего оборудования, в способах формирования шва.

Токи высокой частоты используются при стыковой сварке уже готовых труб и при сварке (изготовлении) прямошовных труб (см. раздел 2.1).

Рассмотрим стыковую сварку труб с применением индуктора (рис. 25). Данный способ сварки труб схож со сваркой труб давлением с оплавлением. Отличительной особенностью здесь является применение индуктора 4 для нагрева кромок свариваемых труб до температур, близких к температурам плавления $T_{пл}$. Нагрев происходит за счет пропускаемого источником 3 тока высокой (радиотехнической) частоты через индуктор, который в свою очередь создает вторичный ток по принципу эффекта близости [14; 22; 27]. Поверхностный эффект концентрирует возбужденные токи точно на торцах труб. Закрепленные зажимами 2 трубы 1 после нагрева торцов сдвигаются в направлении друг к другу до соприкосновения и последующего давления с

созданием сварного соединения. Данный способ сварки труб является простым, но зачастую он не обеспечивает высокую точность изготовления из-за возможного смещения осей свариваемых труб и большого количества вытесненного металла на наружной и внутренней поверхности.

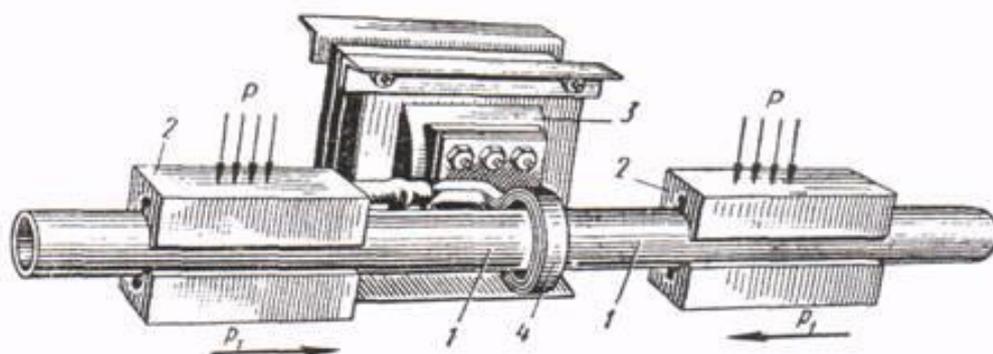


Рисунок 25 – Схема индукционной стыковой сварки труб

Также индукционные методы нагрева нашли применение в термической обработке стальных изделий, в том числе – труб. Преимущество метода индукционного нагрева заключается в его скорости, что повышает общую технологичность процесса термообработки. Но при этом обработка индукционным нагревом – процесс крайне энергоемкий и в некоторых случаях – трудоемкий, если речь идет о нагреве сложных и крупногабаритных изделий. При использовании данного метода на стальных трубах удастся добиться больших результатов, так как конструктивная особенность трубы позволяет осуществлять полноценный нагрев, несмотря на поверхностный эффект. Особенности индукционной термической обработки труб – поверхностной закалки - рассмотрены в разделе 2.2.

2.1 Исследование процессов высокочастотной сварки прямошовных труб

Высокочастотная сварка прямошовных труб является одним из самых известных способов изготовления трубной продукции [19]. Это обусловлено высокой производительностью процесса (скорость сварки $V_{св}$ может достигать 120 м/мин), его непрерывностью, а также тем, что для производства не требуется специальной подготовки поверхности и кромок используемого металлопроката (ленты) [1; 2; 17]. Помимо этого, немаловажной особенностью данного способа является возможность получения труб с качественным швом без наличия наружного или внутреннего грата.

Сварка прямошовных стальных труб подразумевает применение различных приемов подвода тока. Существуют две известные схемы подвода тока – контактным способом (рис. 26, а) и охватывающим индуктором (рис. 26, б) [15; 29]. Процесс предварительной формовки ленты в трубную заготовку с последующей подачей в сварочную клетку одинакова для обеих методов подвода тока, равно как и последующее прохождение готовой трубы через калибровочную клетку. Физический принцип получения сварного соединения одинаков для двух вышеуказанных вариантов подвода тока. Выделение тепла в поверхностном слое кромок труб, созданное вихревыми токами высокой частоты (токами Фуко), объясняется законом электромагнитной индукции Максвелла-Фарадея и законом полного тока Био-Савара-Лапласа, а также эффектами, возникающими в диапазоне промышленных (радиотехнических) частот – 2,5-700 кГц. Это поверхностный эффект и эффект близости [14; 30; 31].

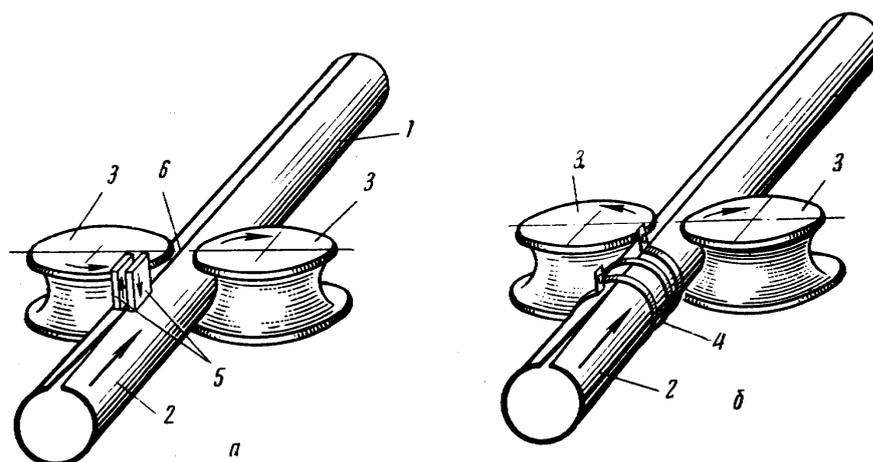


Рисунок 26 – Схема сварки прямошовных труб контактным способом (а) и с помощью охватывающего кольцевого индуктора (б)

Важной особенностью подобного процесса сварки является применение внутреннего ферромагнитного сердечника сплошного сечения (магнитопровода) (рис. 27). Не весь индуцированный ток течет вдоль свариваемых кромок, часть его (ток шунтирования) распространяется по поверхности трубной заготовки. Магнитопровод создает минимальное сопротивление на кромках заготовки, что позволяет образованному токами теплу концентрироваться именно на кромках. Другими словами, за счет большей магнитной проницаемости материала магнитопровода уменьшается ток шунтирования и повышается эффективность процесса сварки. Также стоит отметить то, что на повышение эффективности концентрации тока на свариваемых кромках влияет величина зазора между ними. С уменьшением величины зазора повышается величина тока на кромках. Данный факт в совокупности с применением магнитопровода позволяет максимально повысить эффективность тепловложения в зоне сварки. Особое применение ферритовый сердечник нашел при сварке толстостенных труб, но также его можно применять для труб с малой толщиной стенки с целью повышения производительности [28]. Конструкция сердечника подразумевает водяное охлаждение в виде замкнутой системы подачи воды.

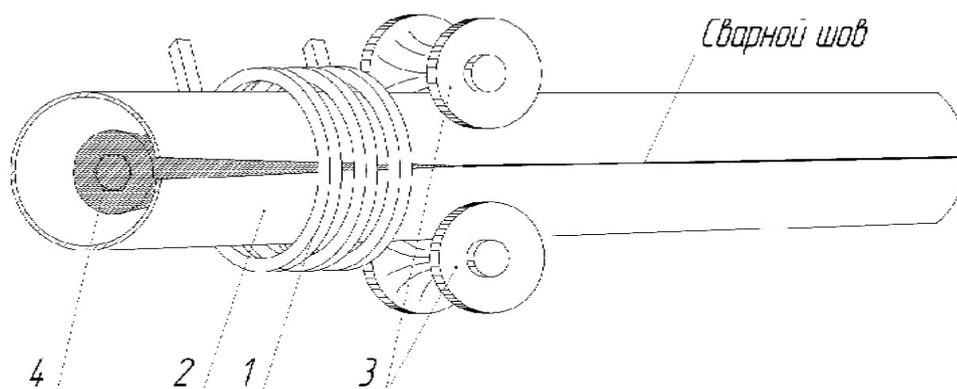


Рисунок 27 – Схема высокочастотной сварки прямошовных труб:
 1 – кольцевой индуктор; 2 – трубная заготовка; 3 – сжимающие (сварочные) валки; 4 – магнитопровод

Контактный способ высокочастотной сварки прямошовных труб заключается в приложении контактов, передающих ток высокой частоты, на расстоянии 30-200 мм от места схождения кромок (зоны сварки). Данный контакты скользят по поверхности кромок в процессе изготовления трубы [Иванов].

Суть индукционного способа подвода тока состоит в следующем – на расстоянии 30-300 мм от места схождения кромок устанавливается индуктор. Зачастую применяется охватывающий кольцевой индуктор (рис. 26, а; рис.27). Различают одно-, двух- и трехвитковые кольцевые индукторы [Слухоцкий]. Основными определяющими факторами для индукторов являются ширина зазора и число витков. Выбор типа индуктора зависит от параметров требуемой трубы. Для труб малых диаметров (до 150 мм) применяют двух- и трехвитковые индукторы, на больших диаметрах – одновитковые разъемные. Аналогично с ферритным сердечником, индуктор имеет внутреннее водяное охлаждение. Как уже было сказано ранее при рассмотрении способа стыковой сварки труб, сущность процесса при индукционном способе заключается в формировании индуктором магнитного поля, порождающего вторичные токи за счет эффекта близости [14; 30; 31].

В обоих случаях под расходом электроэнергии, затрачиваемой на сварку, подразумевается приведенная мощность P_0 , которая является

отношением активной мощности источника питания (высокочастотного генератора) N к произведению толщины стенки S и скорости сварки V (1). Единица измерения расхода энергии – кВт/мм*(м/мин) [14; 21; 27].

$$p_0 = \frac{N}{S \cdot V} \quad (1)$$

Из формулы 1 можно сделать очевидный вывод, что приведенная мощность p_0 уменьшается с увеличением скорости сварки. Важно отметить, что на приведенную мощность также влияет расстояние от контактов (или индуктора) до зоны сварки, чем оно больше, тем меньше p_0 . Автором [23] отмечается, что приведенная мощность при индукционном подводе тока выше, чем при контактном.

2.1.1 Оборудование для высокочастотной сварки прямошовных труб

Для производства электросварных прямошовных труб применяют специальное комплексное оборудование – трубоэлектросварочный агрегат (далее – ТЭСА). Этот агрегат представляет собой производственную линию, в состав которой входит несколько отдельных машин и устройств, которые обеспечивают непрерывное изготовление трубы из прокатной ленты (штрипса). На рисунке 28 показана принципиальная схема такого агрегата. Фактическое устройство стана может отличаться от схемы, изображенной на рисунке 28, например, какое-нибудь устройство может отсутствовать или быть замененным другим.

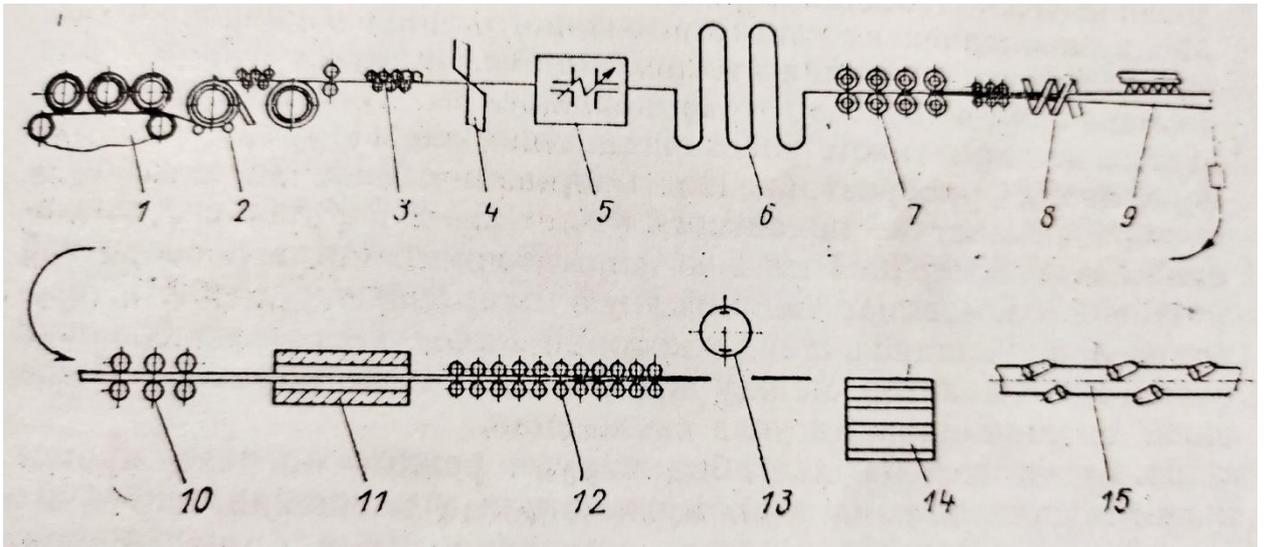


Рисунок 28 – Принципиальная схема агрегата для высокочастотной сварки прямошовных труб [27]

Согласно вышеуказанной схеме, в начале лента проката в рулонном состоянии подается в конвейер 1. В настоящее время в целях повышения эргономичности производственных площадей конвейер не используется в составе ТЭСА и рулоны ленты подаются на разматыватель 2 по мере необходимости. Разматыватель (рис. 29) зачастую является двойным, то есть имеет возможность установки сразу двух рулонов ленты. Такой разматыватель может вращаться вокруг своей оси, имея с каждой своей стороны по рулону и обеспечивая тем самым непрерывность подачи ленты.



Рисунок 29 – Двойной разматыватель с установленным на него рулоном ленты

После разматывателя 2 лента подается в валковую машину 3 для правки. В некоторых случаях валковая установка (рис. 30) может находиться после ножниц 4 и стыкосварочной машины 5. Стыкосварочная машина (рис. 31) необходима для соединения концов ленты с целью обеспечения непрерывности процесса изготовления трубы. Суть заключается в том, чтобы соединить остаток ленты из трубосварочного стана с началом ленты на разматывателе. Сварку концов ленты производят дуговой полуавтоматической сваркой неплавящимся электродом в среде аргона на медной подкладке. После сварки шов зачищается шлифовальной машинкой «заподлицо».

После того, как была произведена сварка стыка лент, ленту начинают разматывать, и подают на накопительный барабан 6 (рис. 32). В иных случаях барабан может быть заменен петлеобразователем. Здесь лента одновременно накапливается и разматывается, можно сказать, образуется компенсационный объем ленты, который позволяет производить непрерывный процесс формовки и сварки в случаях, когда необходимо установить новый рулон ленты на разматыватель.



Рисунок 30 – Валковая правильная машина

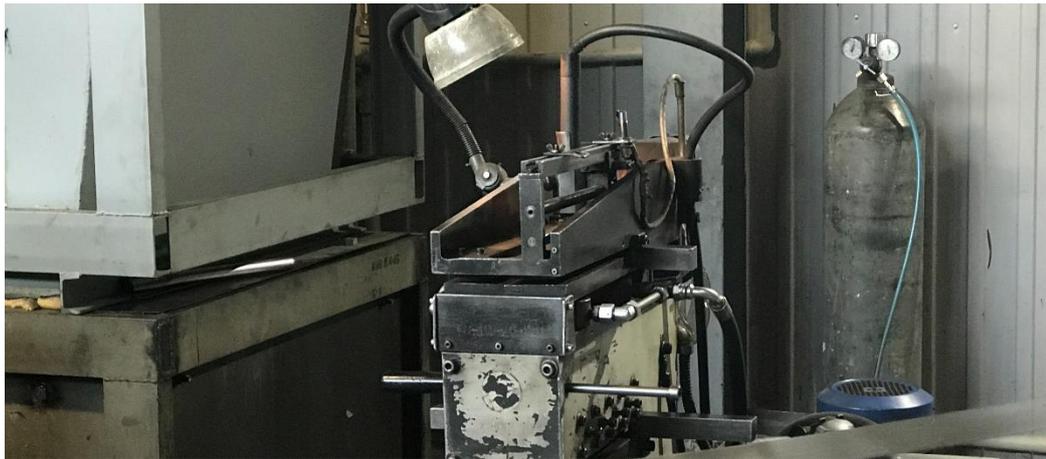


Рисунок 31 – Стыкосварочная машина



Рисунок 32 – Накопительный барабан

После барабана лента поступает в клеть формовочного стана 7 (рис. 33). Формовочный стан представляет собой группу формообразующих валков, которые из ленты образуют трубную заготовку. Под каждый типоразмер трубы необходима своя группа валков. В формовочный стан лента затягивается тянущими приводными роликами.



Рисунок 33 – Клеть формовочного стана

Далее сформованная трубная заготовка проходит в так называемый участок сварочной машины 8, где при прохождении через внешний индуктор и сварочные валки происходит нагрев кромок и сварка трубной заготовки в трубу (рис. 34). На рисунке 34 также показано, что сварочные валки и индуктор охлаждаются специальной эмульсией (3...5-процентный раствор СОЖ). Практически сразу после образования шва труба проходит через наружный и внутренний резцовые гратосниматели. На рисунке 35 изображен наружный гратосниматель. Как правило, гратосниматели изготавливают из термостойких материалов (высокопрочные легированные стали, цветные сплавы типа БрАЖН), так как температура грата высока после его образования в процессе сварки [18]. Режущая пластина внутреннего гратоснимателя располагается на специальной установке, которая находится внутри формованной трубной заготовки (рис. 36). Также на рисунке 36 показано, куда вытесняется внутренний грат после снятия.



Рисунок 34 - Процесс стыковки и сварки кромок трубной заготовки

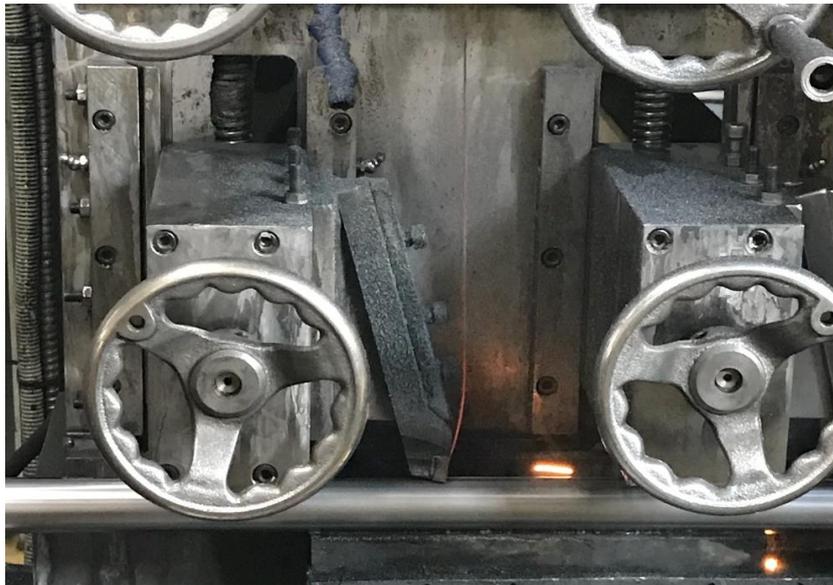


Рисунок 35 – Наружный резцовый гратосниматель

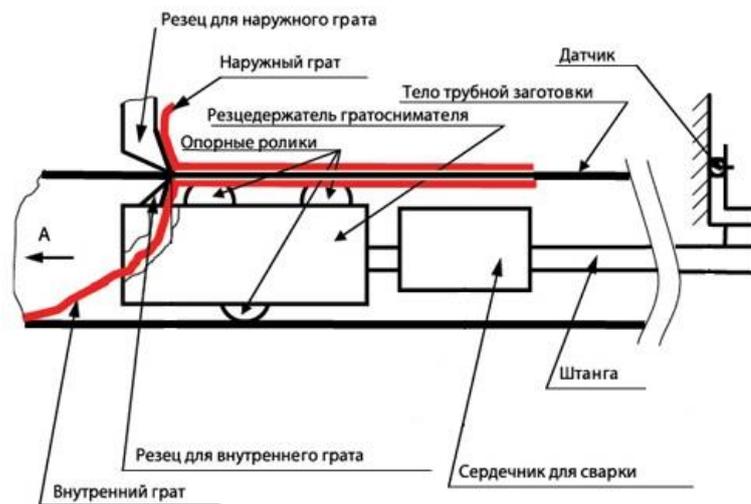


Рисунок 36 – Схема снятия грата при ВЧ-сварке

После снятия грата труба проходит через охлаждающий участок трубосварочного стана 9. В некоторых конструкционных исполнениях после гратоснимателя могут быть установлены дополнительные нагревательные индукторы для термической обработки сварочного шва. Далее труба поступает в клеть калибровочного стана 10 (рис. 37), где она проходит группу горизонтальных и вертикальных валков, которые выправляют трубу, определяя необходимую величину кривизны. Также в калибровочной клетке можно сформировать более сложное сечение трубы, например – профильное. Также существуют исполнения с индукционной печью 11 и станом горячего редуцирования 12. Подобные элементы ТЭСА необходимы для получения нагартованных редуцированных труб, для производства трубных изделий из главы 1 такие элементы не используются.



Рисунок 37 – Клеть калибровочного стана

После калибровочной клетки происходит порезка трубы на мерные длины при помощи летучей пилы 13. По нормативной документации мерная длина для электросварных прямошовных труб составляет ~ 6000 мм. Порезка

осуществляется специальной дисковой пилой (рис. 38), управляемая при помощи пульта управления с ЧПУ. После порезки на мерную длину трубы подаются на рольганг 14 и упаковываются специальным регламентированным образом – трубы собирают в пакеты и фиксируют металлической упаковочной лентой. Принципиальная схема (рис. 28) также подразумевает применение косоалковой правильной установки 15, которая позволяет исправить кривизну и привести ее к минимально возможному значению. Такая установка используется при изготовлении труб высокой точности и может быть применена к трубам отдельно от ТЭСА.



Рисунок 38 – Летучая дисковая пила

В данной работе рисунки 29-38 показывают комплектацию трубоэлектросварочного агрегата ТЭСА 30-63,5.

2.2 Исследование процесса термической обработки токами высокой частоты

Применение технологии поверхностной закалки труб путем индукционного нагрева токами высокой частоты известно с середины прошлого века. Данный метод закаливания стальных изделий, в частности – труб, оказался крайне производительным и быстро нашел применение в массовом производстве. При этом, данный способ более выгоден в производстве малого объема деталей, по сравнению с тем же методом индукционного нагрева в специальных печах. Использование индукционных установок ТВЧ (рис. 39) для проведения поверхностной закалки до сих пор является приоритетным направлением, так как указанный метод нагрева позволяет моментально доводить стальные изделия до закалочных температур и выше [20]. Сопутствующее оборудование таких установок – водяные спрейеры - позволяют также быстро остужать детали, чтобы обеспечить правильное протекание процесса закалки. Сами установки не являются сложным или дорогим оборудованием, что позволяет их использовать в скромных масштабах производства [32; 33].

В данной работе рассматривается специальное оборудование для поверхностной закалки труб токами высокой частоты. Оно используется только для закалки труб, его конструкция, оснастка и инструмент рассчитаны конкретно для труб диаметром 30-70 мм и длиной не более 1250 мм. Соответственно, обрабатывать на этом оборудовании можно только порезанные на установленную длину заготовки. Оборудование, используемое в работе, не является типовым. Конструкция установки ТВЧ для закалки вышеуказанного перечня труб была разработана специалистами ООО «СтальСервис-ТЛ» г. Тольятти.

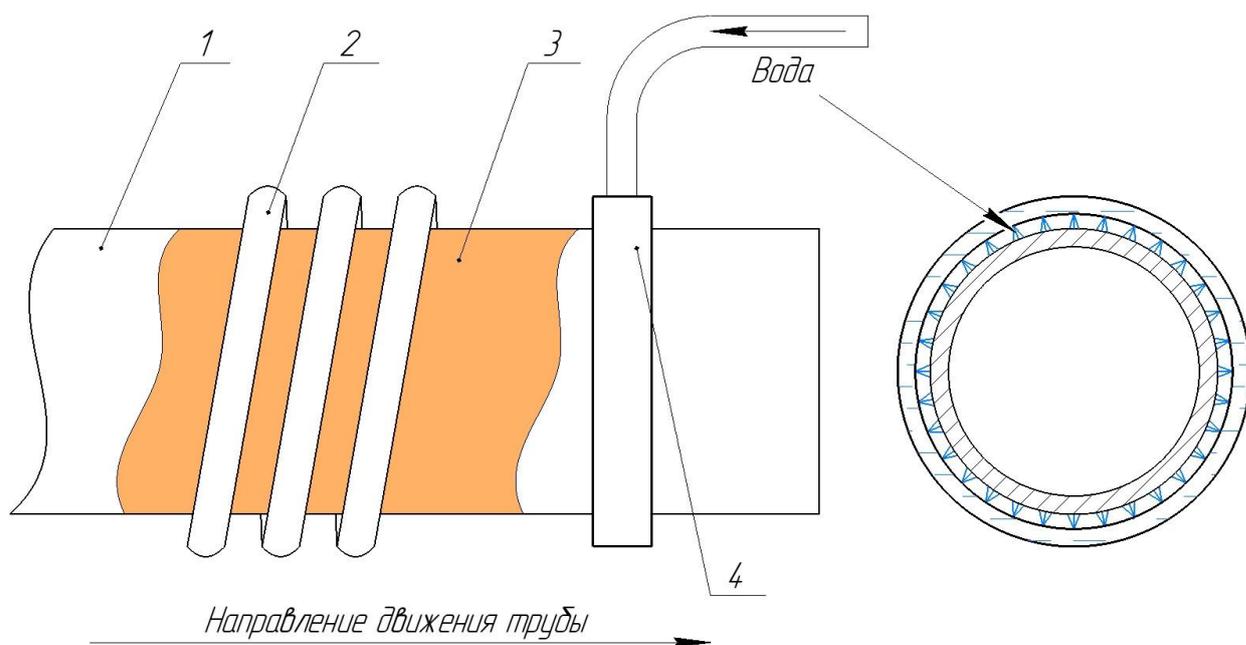


Рисунок 39 – Схема поверхностной закалки труб

На рисунке 39 представлена схема, описывающая процесс поверхностной закалки труб с использованием кольцевого охватывающего индуктора, аналогичный которому применяется при ВЧ-сварке труб. Труба 1, двигаясь по направлению, указанному на схеме, проходит через индуктор 2. Вследствие того, что здесь нет краевых кромок, как в процессе сварки, и не применяется ферритовый магнитопровод, тепло от нагрева ТВЧ распространяется по всему сечению трубы. Зона нагрева 3 также показана на схеме. После нагрева труба движется в сторону водяного охлаждающего спрейера 4, который осуществляет резкое охлаждение трубы. Спрейер представляет собой замкнутый трубчатый контур с отверстиями на внутренней поверхности, через которые под давлением поступает холодная вода. Конструкция спрейера похожа на конструкцию индуктора с отличием в том, что спрейер имеет отверстия. Стоит отметить, что по внутрь индуктора также подается охлаждающая жидкость, как правило – техническая вода, для того, чтобы не допускать перегрева. Расстояние от индуктора до спрейера является технологическим параметром режима и может регулироваться с целью получения необходимого результата. Как и в случае ВЧ-сварки труб,

при поверхностной закалке могут использоваться одно-, двух- и трехвитковые индукторы. Еще одним заметным фактом является то, что для термообработки труб и цилиндрических изделий могут использоваться несколько индукторов, расположенных на определенном расстоянии друг от друга, или же может применяться один протяженный многовитковый индуктор. Такие методы использования кольцевых индукторов обусловлены такими термическими процессами, как отжиг или нормализация, где необходимо удерживать высокую температуру в изделии на протяжении продолжительного периода времени. Отжиг и нормализация с применением установок ТВЧ оказались более энергозатратными процессами, чем закалка, а потому и не нашли широкого применения в массовом производстве [35].

Отличительной особенностью закалки ТВЧ является то, что из-за поверхностного эффекта вихревые токи распространяются по поверхности изделия и лишь на определенную глубину. Эта глубина проникновения тока носит экспоненциальный характер и определяется по формуле (2), где ρ – удельное электрическое сопротивление материала изделия (трубы), Ом•м; μ – магнитная проницаемость; f – частота тока [14]. Данный эффект характерен также и при сварке труб токами высокой частоты [34].

$$\Delta = 5030 \sqrt{\rho / \mu f} \quad (2)$$

Как можно заметить из формулы (2), глубина проникновения обратно пропорциональна частоте тока, то есть с увеличением частоты тока на генераторе при проведении закалки нельзя добиться большего нагрева, получится обратный эффект. Соответственно, высокие частоты (~ 440 кГц) применяют в тех случаях, когда необходимо нагревать (закачивать) только верхний слой изделия и при этом сохранить пластическую сердцевину. Это также является отличительной чертой процесса закалки ТВЧ, которая позволяет получать детали с уникальными физико-механическими свойствами. Тем не менее, в некоторых случаях подобные сочетания могут

считаться недостатком, а значит, не рекомендуется применять поверхностную закалку ТВЧ для деталей, которым требуется прогрев по всей площади сечения, в тех случаях, когда нет нужного оборудования.

На токах в диапазоне частот 440-560 кГц наибольшая глубина проплавления на стальных изделиях не превышает 1 мм. В таблице 10 представлена зависимость глубины нагрева от частоты тока [33; 36].

Таблица 10 – Глубина проплавления при использовании разных промышленных частот тока [36]

Частота, кГц	440	70	25	10	8	4	2,5	1
Глубина закаленного слоя, мм								
Наименьшая	-	-	-	-	-	-	2,6	4,5
Наибольшая	0,75	1,9	3,2	5,0	5,5	7,8	10	16

Данные из таблицы 10 имеют погрешность и не являются окончательно точными. Приведенные в таблице данные характерны для цилиндрических стальных изделий, в том числе полых, без высокой степени легирования элементами, которые повышают закалочные свойства стали.

Помимо труб и трубчатых изделий закалке ТВЧ подвергают некоторые детали машин, такие как шестерни (рис.40), зубчатые колеса (рис. 41) и валы (рис. 42). Данным способом достигают поверхностного упрочнения вышеуказанных деталей, повышая их работоспособность, стойкость к износу, и, соответственно, долговечность эксплуатации. Также закалку ТВЧ могут применять для обработки коленчатого вала двигателя автомобиля. Для данных деталей способ закалки ТВЧ оказался наиболее выгодным и производительным, чем обработка специальных дорогостоящих печей. Известны способы применения нагрева ТВЧ для проведения гибки и гофрирования труб [32].



Рисунок 40 – Закалка ТВЧ зубьев шестерен



Рисунок 41 – Закалка ТВЧ зубчатых колес



Рисунок 42 – Закалка ТВЧ вала редуктора

Главным недостатком поверхностной закалки токами высокой частоты с применением кольцевого индуктора является весьма ограниченный перечень изделий, который можно было бы закаливать таким образом. Трубы, валы, шестерни, зубчатые колеса, некоторые цилиндрические детали машин и механизмов простой формы с легкостью поддаются термической обработке вышеописанным способом. Для деталей сложной и/или объемной формы данный способ термической обработки не подходит.

Также одним из недостатков данного метода можно определить возникающую в ходе обработки кривизну (деформацию) труб. На рисунке 43 показан характер движения трубной заготовки в установке ТВЧ. При нарушении соосности краевых зажимных патронов может происходить вращение, которое увеличит начальную кривизну трубы. Чем больше величина начальной кривизны на трубной заготовке, тем больше величина конечной кривизны после обработки. Также известны случаи образования винтовой формы трубы вследствие неправильной настройки оборудования и случаи уменьшения длины заготовки.

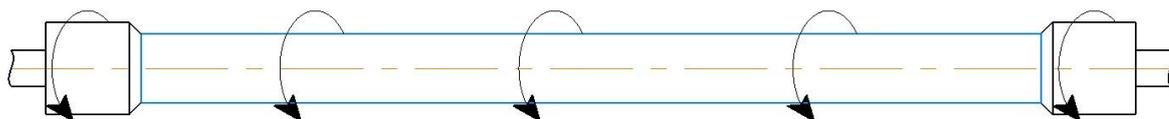


Рисунок 43 – Схема вращения трубной заготовки при работе установки ТВЧ

Появление трещин также можно отнести к недостаткам рассматриваемого способа, так как данный дефект характерен для всех разновидностей закалки в целом, вне зависимости от применяемого оборудования и технологии. При поверхностной закалке трещины могут появляться из-за разности температур в сечении изделия. Для электросварных прямошовных стальных труб с высоким содержанием углерода и марганца характерно появление трещин в зоне шва и в зоне термического влияния при повышенных режимах закалки [20].

Определение режимов нагрева и охлаждения при термической обработке данным способом происходит зачастую опытным путем, так как многообразие технического исполнения установок ТВЧ не позволяет точно распространить типовые параметры режима. При закалке ТВЧ стальных изделий в первую очередь учитывают свойства выбранного материала, характерные ему температурные границы структурных превращений. Что касается технологических параметров режима, таких как частота на генераторе, скорость нагрева и скорость охлаждения, то тут величины данных режимов выбираются наладочным путем при работе на конкретном оборудовании. В процессе наладки делаются несколько закаленных образцов, после чего проводят исследования по определению твердости, макро- и микроструктуры. На основании полученных результатов делается вывод о достижении требуемого режима или необходимости его корректировки [36].

Контроль качества поверхностной закалки ТВЧ производится путем проверки достижения требуемых физико-механических характеристик. В

первую очередь это проверка твердости закаленного слоя. В основном твердость после проведения закалки проверяют по шкале Роквелла HRC для углеродистых сталей с содержанием углерода в диапазоне 0,25-0,45%. При проведении закалки на низкоуглеродистых конструкционных сталях с содержанием углерода от 0,05% до 0,25% твердость могут проверять по шкалам HRB (Роквелл) и HV1 (Виккерс). Стоит учесть, что определение твердости при обработке стальных труб для автомобилестроения является методом косвенного определения годности, так как определяющим параметром являются механические свойства (предел прочности, предел текучести, относительное удлинение) и микроструктура. Испытания по определению механических свойств и структуры являются неотъемлемой частью периодических испытаний, которые проводятся с каждой новой плавкой металлопроката (в случае массового производства изделий).

2.2.1 Оборудование для термической обработки токами высокой частоты

Оборудование для термической обработки токами высокой частоты может быть разнообразным – все зависит формы обрабатываемого изделия, который в свою очередь определяет форму и размеры индуктора и охлаждающего спрейера, как, например, показано на рисунках 40-42. Диапазон величины диаметров индуктора для термообработки ТВЧ может варьироваться от 10 до 1200 мм [37]. Как правило, в состав подобных установок входят высокочастотный источник питания, индуктор, контур охлаждения (спрейер), механизмы подачи детали в зону нагрева.

Как уже было сказано ранее, в данной работе рассматривается специальное оборудование для проведения поверхностной закалки трубных заготовок – установка ТВЧ. Схема и порядок ее работы изображены на рисунке 44.

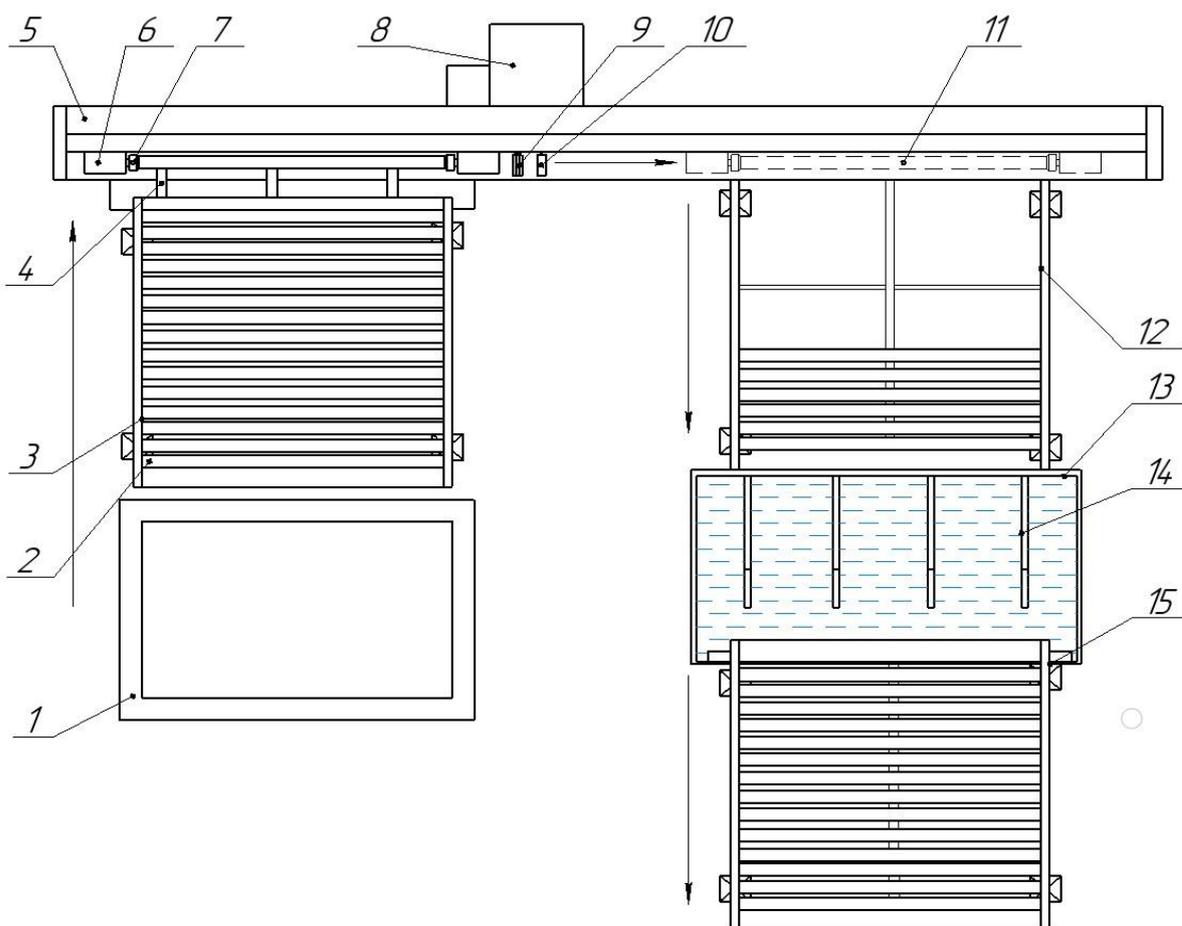


Рисунок 44 – Схема установки ТВЧ для термической обработки трубных заготовок

Трубные заготовки 2 из контейнера 1 укладываются оператором вручную на направляющий рольганг 3 (рис. 45), который установлен под небольшим наклоном с целью свободной подачи трубы в зону захвата. После того, как крайняя трубная заготовка на рольганге подкатывается к его краю, кронштейн подъема 4 подхватывает заготовку и поднимает ее в зону захвата, где осуществляется зажатие заготовки технологической оснасткой. Данная оснастка, установленная на станине 5 (рис. 46), представляет собой конструкцию, состоящую из электродвигателя 6, который приводит в вращательное движение зажатую заготовку. Зажим осуществляется при помощи зажимных головок (патронов) 7. После зажима труба начинает движение в сторону индуктора 9, питание к которому идет от

высокочастотного генератора 8. В процессе прохождения через индуктор трубная заготовка моментально нагревается и через установленный промежуток охлаждается спреером 10 (рис. 47). Трубная заготовка, полностью пройдя через индуктор и спреер, переходит в зону сброса 11, где разжимаются зажимные патроны, и труба падает на накопительный рольганг 12 (рис. 48). С накопительного рольганга заготовки подаются поступательными циклами в моющую ванну 13 (рис. 49) со специальным раствором эмульсии (3-6% моющего раствора БОК-6, растворенного в воде). В этой ванне заготовка очищается от возможной окалины и налета, образованного в процессе термической обработки, а также заготовка приобретает консервационный слой на поверхности, который увеличивает срок хранения трубы. Из ванны трубная заготовка поднимается механизмом 14 и этот же механизм перемещает трубу на следующий накопительный рольганг 15 (рис. 50). Трубы на этом рольганге накапливаются до определенного количества, в процессе этого они сохнут, после чего оператор вручную укладывает их в тару согласно схеме упаковки.



Рисунок 45 – Направляющий рольганг

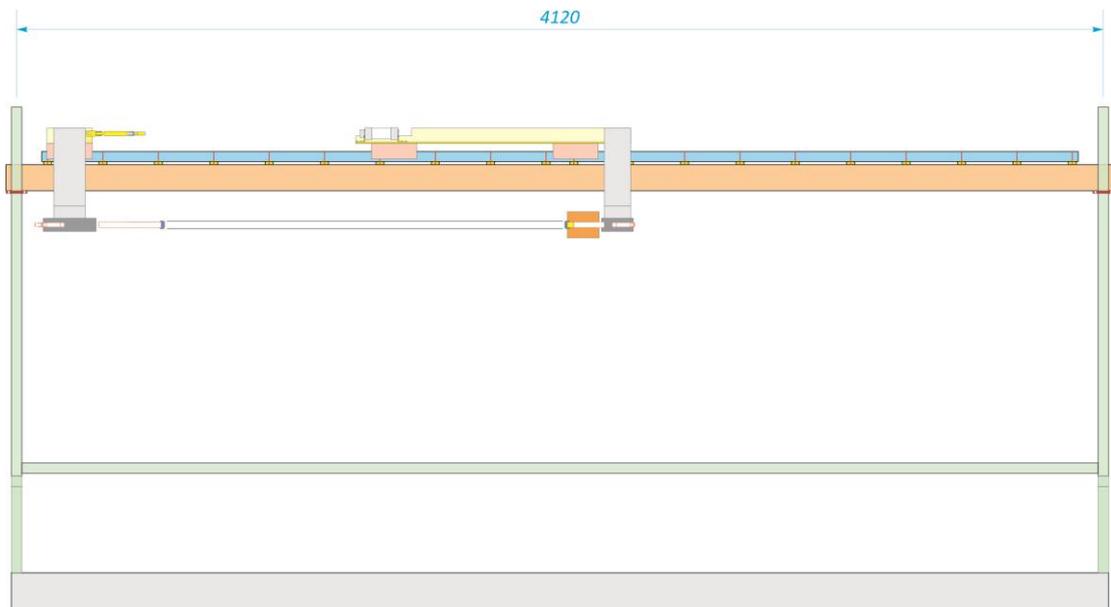


Рисунок 46 – Станина с механизмом перемещения

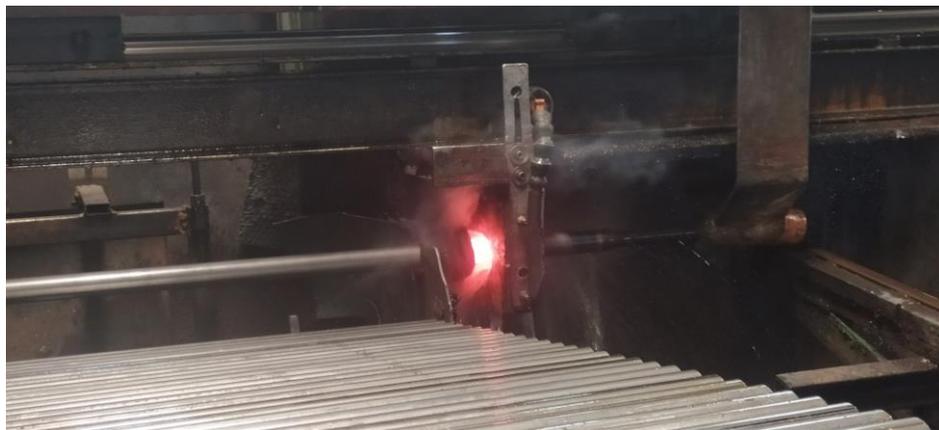


Рисунок 47 – Трубная заготовка, проходящая через индуктор и спрейер



Рисунок 48 – Накопительный рольганг



Рисунок 49 – Моющая ванна



Рисунок 50 – Просушка труб на последнем накопительном рольганге

2.3 Методика исследования сварных и термообработанных труб

Как уже было описано в главе 1, электросварные прямошовные стальные трубы имеют ряд параметров, по которым определяется их соответствие тем или иным требованиям нормативной документации. Это физико-механические свойства, химический состав, структура и т.д. Для определения точной величины каждого из этих параметров существуют

нормативные методики. Стандарты, описывающие технические условия и эксплуатацию электросварных прямошовных труб (ГОСТ 10705-80, DIN EN 10305-3, ТЕР 320) ссылаются на одни и те же стандартизированные методы по определению конкретных параметров. Соответственно, в данной работе методика испытаний образцов электросварной трубы, полученных в ходе экспериментальных работ, будет полностью основана на процедурах, предписанных этими методами.

Методика исследования сварочного шва заключается в проведении контроля на нескольких этапах производства электросварной прямошовной трубы. В процессе изготовления трубы на ТЭСА, шов проверяется вихретоковым дефектоскопом WT-82 на наличие трещин и непроваров. Вихретоковый дефектоскоп подает сигнал на дисплей при обнаружении какого-либо дефекта. После изготовления труба подвергается исследованию путем испытания на раздачу (ГОСТ 8694-75) и сплющивание (ГОСТ 8695-75) (рис. 51-53). При данных испытаниях не допускается появления трещин и разрывов по сварочному шву и основному металлу трубы. После прохождения вышеописанных испытаний труба признается годной [7; 8].

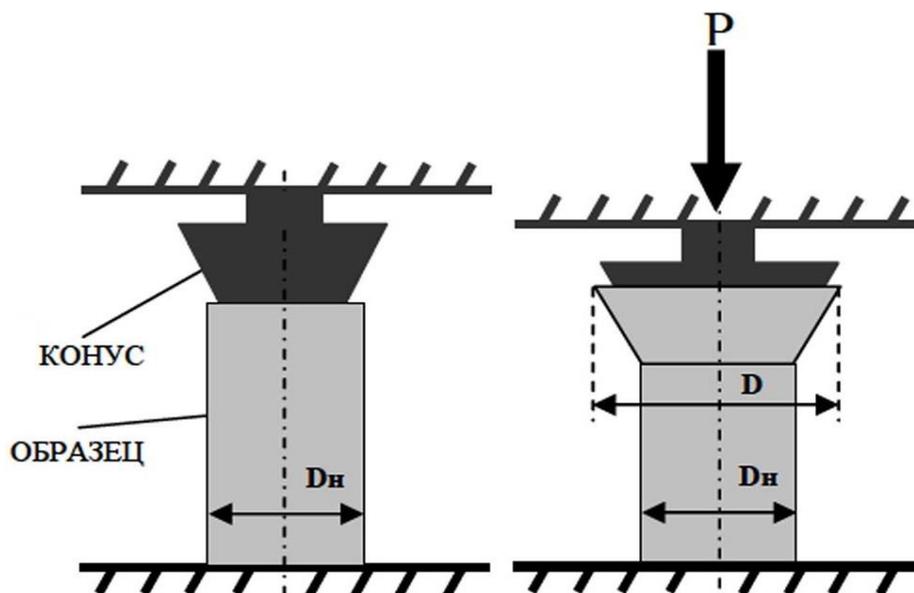


Рисунок 51 – Процесс испытания трубы на раздачу конусом



Рисунок 52 – Процесс испытания трубы на сплющивание

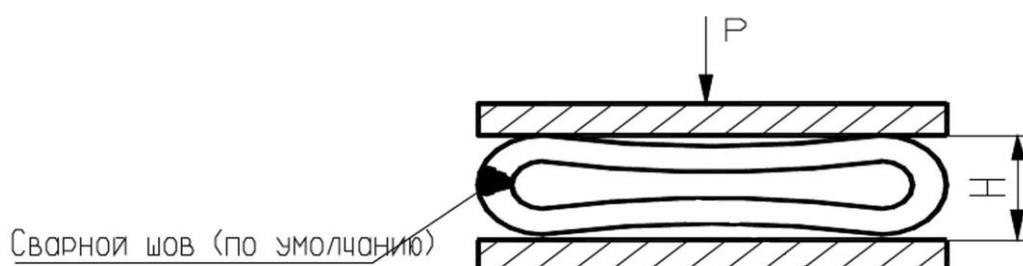


Рисунок 53 – Схема расположения образца трубы при испытании на сплющивание

В процессе проведения исследований в данной работе планируется исследовать сварочный шов также в несколько этапов – контроль шва дефектоскопом в процессе изготовления, испытание на раздачу и сплющивание до и после проведения поверхностной закалки, исследование макро- и микроструктура шва и зоны термического влияния (ЗТВ) и механических свойств (см. п. 2.3.1 и п. 2.3.2).

2.3.1 Методика исследования механических свойств труб

Исследования по определению механических свойств проводились по ISO 6892-1 (ГОСТ 1497 (ИСО 6892-84) «Металлы. Методы испытаний на растяжение» и ГОСТ 10006-80 (ИСО 6892-84) «Трубы металлические. Метод испытания на растяжение») на двух видах образцов: на сегменте трубы

шириной 10 мм с головками («лопатками») и в полном сечении (на пробках) [10; 13]. Используемое оборудование для данного вида испытаний – универсальная машина Z150. Образцы «лопатками» делались как для основного металла, так и для сварочного шва (рис. 54). Образцы для испытаний в виде лопаток вырезаются в продольном сечении трубы на фрезерном станке. Края образца должны быть защищены от заусенцев, сами «лопатки» должны быть подплющены на прессе для того, чтобы их можно было беспрепятственно зажимать в губках разрывной машины, так как «лопатки» после вырезки имеют радиальную форму.

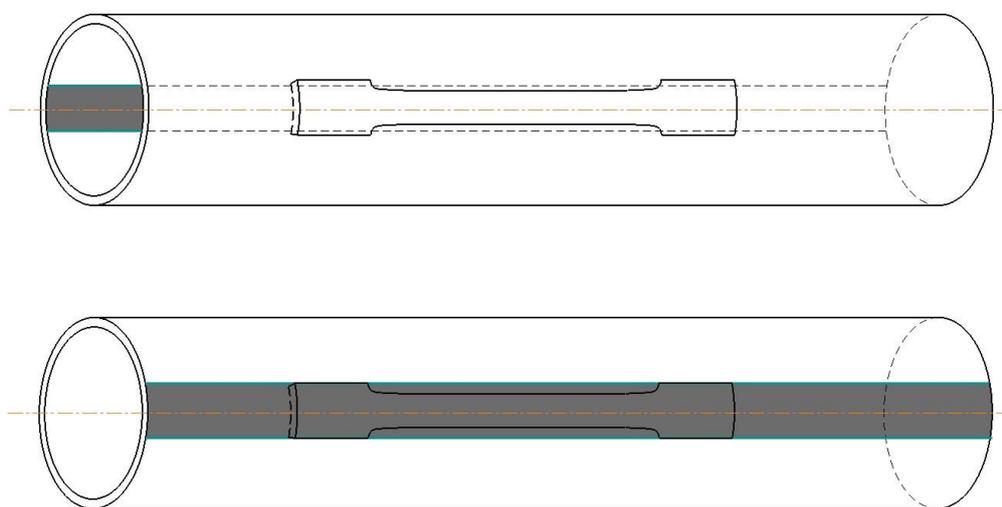


Рисунок 54 – Схема вырезки образцов из трубы (по основному металлу и по металлу шва)

С каждого температурного режима в процессе эксперимента планируется отобрать по две трубы, из одной будет вырезано два образца (по телу и по шву) по ГОСТ 1497-84, а вторая будет испытана в полном трубном сечении (рис. 55) с использованием цилиндрических пробок по ГОСТ 10006-80.

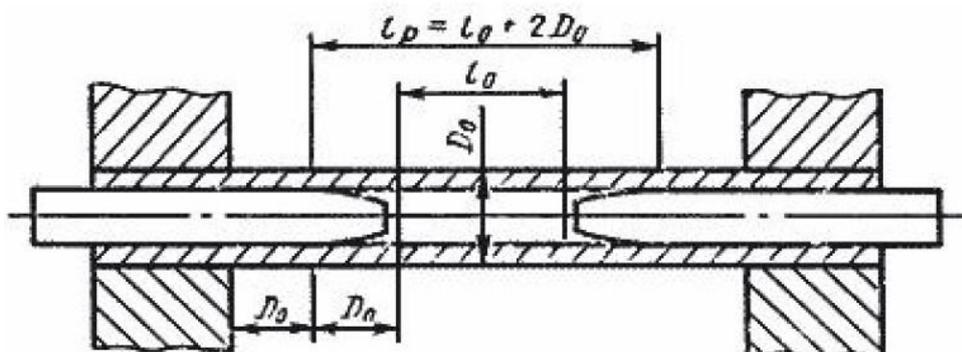


Рисунок 55 – Схема испытания образца трубы на растяжение в полном сечении на пробках

В процессе испытаний на разрывной машине, компьютерная программа строит диаграммы нагружения и фиксирует нагрузочные показатели, которые потом сохраняются в базе данных. Полученные величины необходимо занести в сводную таблицу для дальнейшего анализа. Планируется испытать образцы труб с нескольких температурных режимов и сравнить с образцом, который не претерпевал поверхностной закалки, для сравнения физико-механических показателей до и после.

Определение твердости проводилось по ГОСТ 9013-59 «Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу» [9]. Используемое оборудование – твердомер ТР 5006. Данный твердомер определяет твердость по Роквеллу – HRA, HRB, HRC. В данном случае твердость по HRB. С помощью переводных таблиц можно определить величину твердости по HV1 (Виккерс). Измерению твердости подвергаются те же образцы, что испытывались на растяжение. По требованию стандарта TEF 320 измерение твердости проводится на участке трубы по сварочному шву (рис. 56).

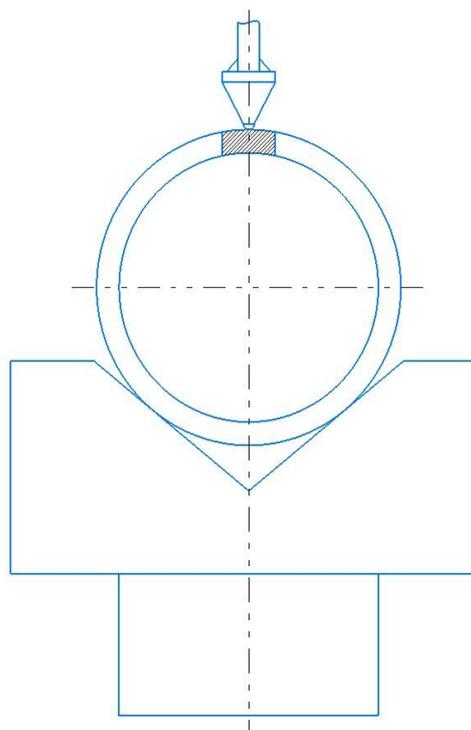


Рисунок 56 – Измерение твердости сварочного шва трубы

2.3.2 Методика исследования структуры труб и химического состава

Металлографический анализ требуется проводить согласно ГОСТ 1778-70 «Сталь.Metalлографические методы определения неметаллических включений» при помощи электронного микроскопа AXIO Observer.D1m. Анализ проводится на травленных образцах, травитель – нитал. Исследование структуры проводится на шлифах. Образцы для изготовления шлифов с поперечным направлением волокон вырезаются из трубы по ее сечению. Шлифы могут представлять собой все сечение трубы или ее часть (сектор), в зависимости от требований [12]. В данной работе исследования по определению структуры проводились на секторе трубы, как показано на рисунке 57. Охват такого сектора позволяет провести металлографический анализ зоны сварочного шва, зоны термического влияния и основного металла, а также оценить величину обезуглероженного слоя, при наличии такового. Проведение металлографического анализа планируется провести на

образцах, на которых удастся достигнуть требуемых показателей механических свойств.

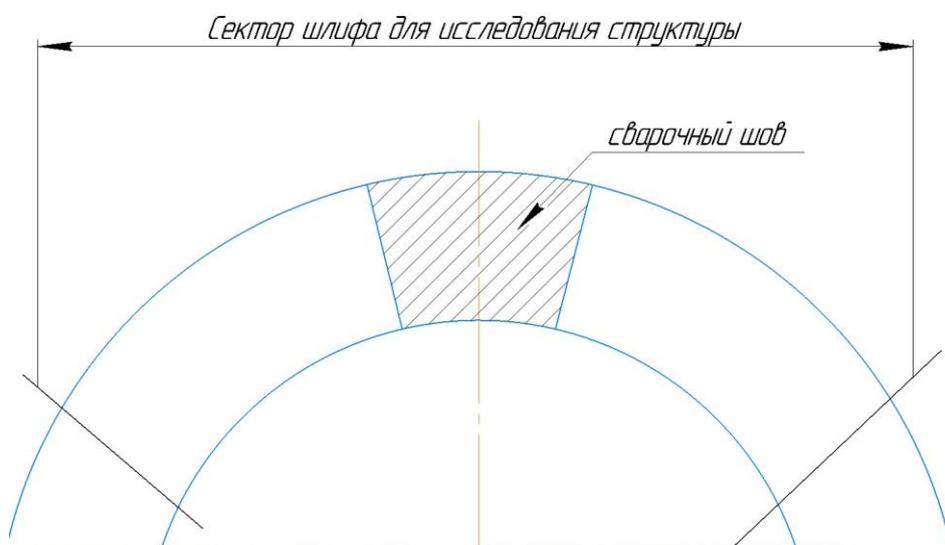


Рисунок 57 – Изображение сектора шлифа на образце трубы для исследования структуры

Химический анализ планируется проводить по ГОСТ 18895-97 «Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа», так как в стандарте заказчика ТЕР 320 не определен метод проведения химического анализа. Метод фотоэлектрического анализа с возбуждением спектра лампой тлеющего разряда является эффективным методом определения массовой доли элементов сталей. Согласно ГОСТ 18895-97, «метод основан на возбуждении атомов элементов стали электрическим разрядом, разложении излучения в спектр, измерении аналитических сигналов, пропорциональных интенсивности или логарифму интенсивности спектральных линий, и последующем определении массовых долей элементов с помощью градуировочных характеристик» [11, с. 1]. Отбор проб для анализа следует проводить по ГОСТ 7565-81 (ИСО 377-2-89) «Чугун, стали и сплавы. Метод отбора проб для определения химического состава», согласно которому для исследования электросварных труб с толщиной стенки менее 4 мм собирают специальную стружку методом обработки пробы, вырезанной из отрезка

трубы, предварительно разрезанной на несколько частей [ГОСТ 7565]. Стружку получают в процессе засверловки или обработки многолезвийным инструментом. Определение химического состава рассматриваемым методом может занимать от двух до трех дней. Тем не менее, результат полученный с применением данного метода, будет более точный, чем, например, с применением эмиссионным способом. Оборудование для проведения анализа - SPECTRO GDA 750 - спектрометр фотоэлектрический. Для определения химического состава потребуется один образец, прошедший цикл поверхностной закалки, температурный режим в данном случае не имеет значения.

На основании полученных результатов химического анализа необходимо будет произвести расчет величины углерода эквивалентного $C_{\text{ЭКВ}}$ по установленной формуле (см. гл. 1, п. 1.1, рис. 16).

2.3.3 Методика исследования геометрических параметров труб

Геометрические параметры трубной электросварной заготовки также требуется исследовать на соответствие требованиям стандарта TEF 320. Основные параметры, которые необходимо измерить – это диаметр трубы, толщина стенки, длина заготовки, косина реза (торцевое биение), кривизна, отклонение от цилиндричности формы профиля, смещение кромок. Замеры должны производиться универсальными измерительными инструментами с точностью измерения в 10 раз выше, чем размерность поля допуска, т.е. если, например, заложено поле допуска $\pm 0,5$ мм, то точность измерительного инструмента должна составлять 0,05 мм.

Диаметр планируется контролировать в трех поперечных сечениях, расположенных по всей длине заготовки, как показано на рисунке 58 – в середине заготовки и на торцах. Это требуется для того, чтобы оценить стабильность размера по длине трубы. Также при замере диаметра необходимо определять его минимальное и максимальное значения. Разность между максимальной и минимальной величиной диаметра – это отклонение

от цилиндричности формы. Средство измерения – штангенциркуль цифровой ШЦЦ-1-150-0.01 по ГОСТ 166-89.

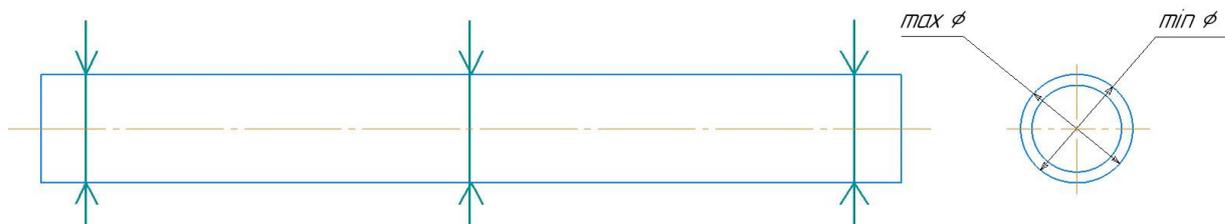


Рисунок 58 – Схема проведения замеров диаметра трубы

Контроль длины заготовки производится при помощи магнитных призм, на которых установлена заготовка (рис. 59). Призмы обеспечивают жесткую фиксацию заготовки, что в свою очередь обеспечивает более высокую точность замеров. Длину требуется определять по всему торцевому сечению трубы путем выявления максимальной и минимальной величин, аналогично с замерами диаметра. Для этого требуется вращать трубную заготовку в призмах. Измерительный инструмент – ШЦ-3-600-0,05 по ГОСТ 166-89. В данном случае допускается применять штангенциркули цифровые (ШЦЦ) и с круговым индикатором (ШЦК) с точностью измерения не менее 0,05 мм.

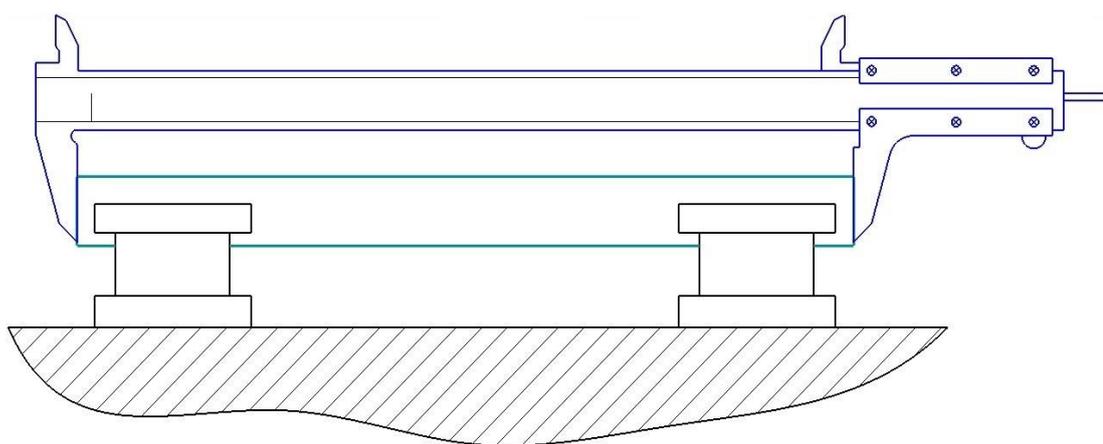


Рисунок 59 – Схема проведения замеров длины трубной заготовки

Кривизна трубной заготовки определяется с использованием поверочной плиты и набора щупов № 2 по ГОСТ 882-75 «Щупы. Технические условия» (рис. 60). Заготовку прокатывают по плите в поиске максимального отклонения от прямолинейности профиля и набором щупов определяют величину кривизны «e» на конкретном участке длины «L».

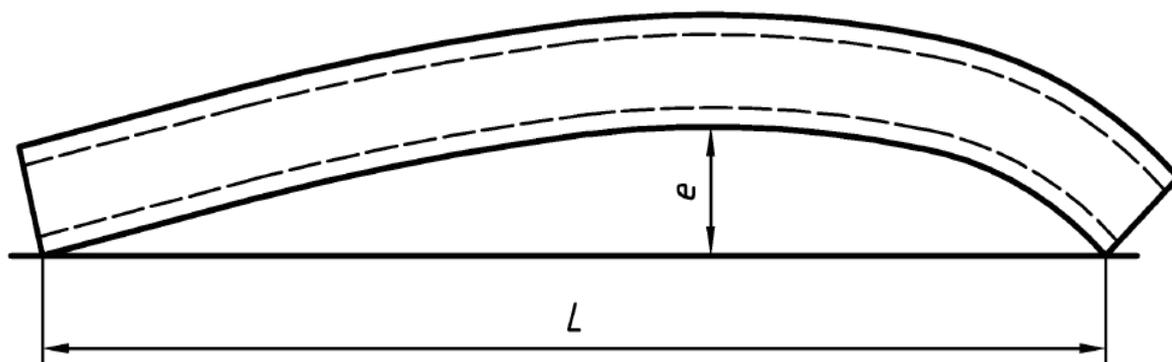


Рисунок 60 – Отклонение от прямолинейности (кривизна) трубы

Косина реза (торцевое биение) проверяется при помощи угольника поверочного УЛП (90°) по ГОСТ 3749-77 и набора щупов по ГОСТ 882-75. Определение величины косины реза проводится после финальной операции «Порезка» (см. гл. 4).

Контроль толщины стенки осуществляется при помощи стенкомера индикаторного С10А или микрометра трубного МТ-25. Также микрометром измеряется смещение кромок путем проведения нескольких замеров в сечении сварочного шва и ЗТВ. Допускается проводить контроль толщины стенки после проведения закалки, так как данный процесс не влияет на этот параметр.

По окончании проведения измерений всех вышеописанных параметров необходимо составить комплексную карту замеров, которая будет являться результатом исследования геометрических параметров.

3 Проведение эксперимента и оценка результатов

3.1 Описание изделия

Рассматриваемое изделие в конечном виде представляет собой заготовку электросварной прямошовной трубы $\text{Ø}25 \times 1,5 \times 500$ мм (рис. 61), изготовленной в соответствии с ГОСТ 10705-80 и ТЕР 320. Материал трубы – сталь 08Ю по ГОСТ 9045-93 «Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки». Изделие в дальнейшем подвергается механической обработке в виде формовки (раздачи) торцов, и автоматической сварке в составе каркаса автомобильного кресла (см. гл. 1, рис. 12). На рисунке 61 показаны размеры, расположения и предельные отклонения, которые должны быть строго соблюдены при изготовлении.

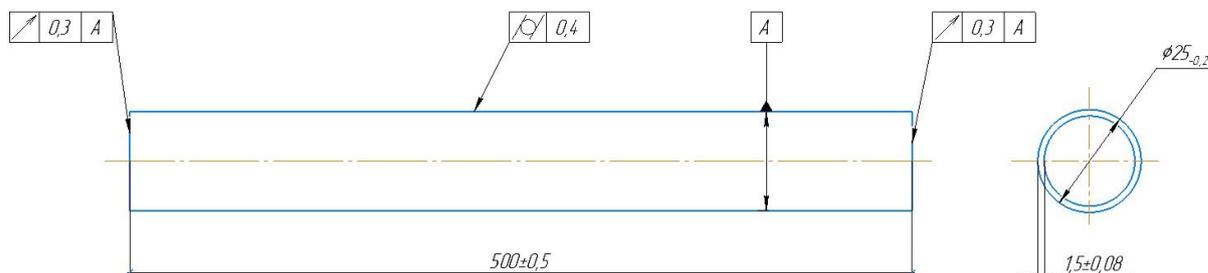


Рисунок 61 – Чертеж заготовки трубы $\text{Ø}25 \times 1,5 \times 500$ мм сталь 08Ю с требованиями заказчика

3.2 Описание установленных требований

К трубной заготовке, как к конечному изделию, установлены следующие требования заказчика, изложенные ниже.

Требования по химическому составу указаны в таблице 11.

Таблица 11 – Требуемый химический состав материала по стандарту ТЕР 320 [6]

Содержание элементов, %								
C	Si	Mn	P	S	Al	Cr+Mo	Nb+Ti	B
max 0,10	max 0,5	max 1,1	max 0,025	max 0,025	min 0,015	max 0,5	max 0,22	max 0,005

Требования по механическим свойствам в трубе:

- предел прочности $\sigma_B = 400-460$ МПа;
- предел текучести $\sigma_T = 320-380$ МПа;
- относительное удлинение $\delta \geq 25\%$.

Требования по микроструктуре: Микроструктура должна быть однородной и иметь четко рекристаллизованные зерна (рис. 62). Это касается как основного металла, так и металла шва и ЗТВ. Глубина обезуглероженного слоя не должна превышать 0,05 мм (50 мкм).



Рисунок 62 – Образец требуемой микроструктуры по стандарту заказчика ТЕР 320

Требуемые испытания электросварной трубы по установленным требованиям:

- испытания трубы на раздачу конусом на 50% min (до $\varnothing 38$ мм), шов должен выдержать испытание, наличие трещин не допускается;

- испытания трубы на сплющивание по сварному шву – шов должен выдержать испытание, наличие трещин не допускается.

Установленные требования для твердости сварного шва: не более 160 HV1.

3.3 Используемое оборудование и краткое описание экспериментального технологического процесса

Изготовление трубы осуществляется на трубоэлектросварочном агрегате ТЭСА 30-63,5, по процедуре, описанной в главе 2 (рис. 63-64). После изготовления полученную длинномерную трубу требуется порезать на заготовки в размер $1100\pm 0,5$ мм в количестве 10 штук на отрезном полуавтоматическом станке HVS-375DR (рис. 65). Помимо этого, на данном станке необходимо порезать трубу на заготовки в размер $500\pm 0,5$ мм в количестве 5 штук. Это будут образцы, которые не подвергаются закалке. Порезанные в размер $1100\pm 0,5$ мм заготовки очищаются от заусенцев на торцах и далее следуют на установку по термообработке труб ТВЧ №3 (рис.66). После проведения закалки на ТВЧ №3, обработанные трубы режутся в размер 500 мм и также зачищаются от заусенцев. По окончании всех технологических операций, заготовки исследуются согласно установленной методике (см. гл. 2).



Рисунок 63 – Трубоэлектросварочный стан ТЭСА 30-63,5

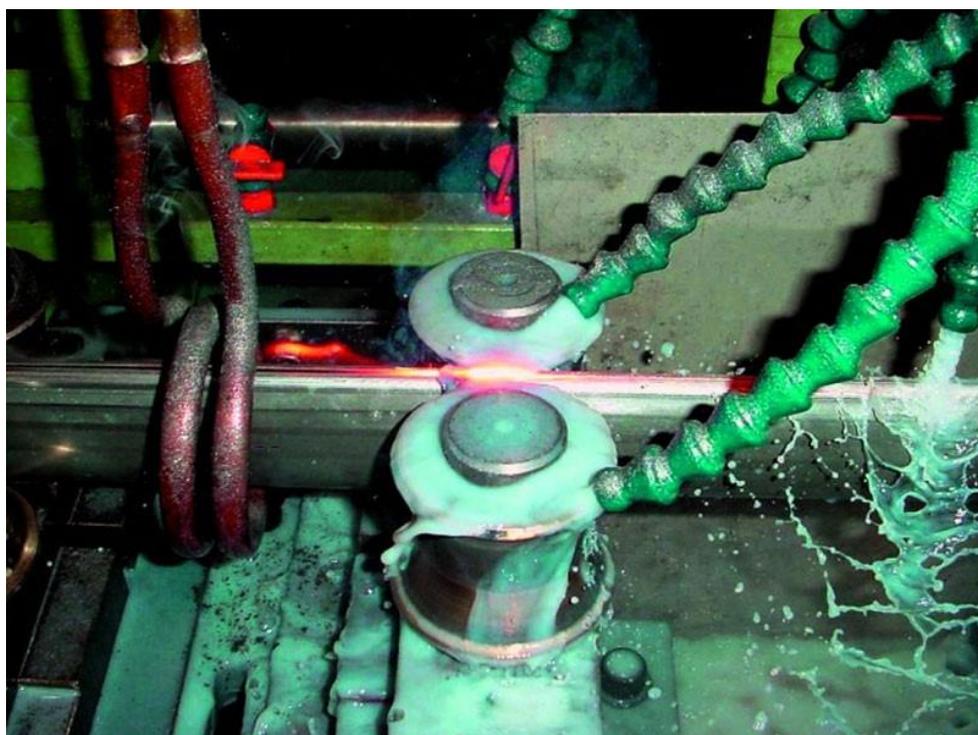


Рисунок 64 – Сварочный индуктор и валки ТЭСА



Рисунок 65 – Отрезной станок HVS-375DR



Рисунок 66 – Установка для закалки ТВЧ №3

Оборудование и инструменты для проведения исследований и испытаний:

- Универсальная разрывная машина Z150;
- Твердомер ТР 5006;
- Вихретоковый дефектоскоп WT-82;
- Пресс гаражный гидравлический;
- Штангенциркуль цифровой ШЦЦ-1-150-0,01;
- Штангенциркуль ШЦ-3-600-0,05;
- Микрометр трубный МТ-25;
- Набор щупов №2 и поверочная плита;
- Угольник поверочный УЛП;
- Спектрометр фотоэлектрический SPECTRO GDA-750;
- Электронный микроскоп AXIO Observer.D1m

3.4 Ожидаемые результаты

В ходе проведения экспериментальных (опытных) работ планируется достигнуть требуемых характеристик путем применения процесса закалки. В ходе эксперимента планируется сравнить результаты исследований механических свойств до и после процесса закалки для определения пригодности внедряемого процесса. Программа эксперимента показана в таблице 12.

Таблица 12 – Программа эксперимента

№ п/п	Характер работ
1	Изготовление электросварной прямошовной трубы Ø25x1,5 ст08Ю.
2	Порезка трубы в необходимые размеры (1100 мм и 500 мм).
3	Проведение эксперимента - закалка образцов на определенных режимах.
4	Исследование образцов на соответствие требованиям заказчика.
5	Сравнение результатов с закалкой и без закалки.
6	Формирование отчета

Таблица 13 – Программа и режимы термической обработки (закалки) на установке ТВЧ №3

Температурный режим, °С	Кол-во образцов, шт	Мощность ТВЧ, %	Скорость перемещения, %	Температура воды, °С
700 °С	5	40	10,8	11
650 °С	5	37	10,8	11
600 °С	5	35	10,8	11
Без ТО	5	-	-	-

3.5 Проведение эксперимента

После получения образцов труб с операции «Порезка», образцам были присвоены порядковые номера в зависимости от температурных режимов (см. табл. 13): образцы № 1-5 на температурном режиме 700 °С, образцы № 6-10 на температурном режиме 650 °С, образцы № 11-15 на температурном режиме 600 °С, образцы № 16-20 – без применения термической обработки (закалки).

Для каждого температурного режима использовались дополнительные наладочные образцы, которые не учитываются в эксперименте и дальнейшем исследовании.

Вначале образцы устанавливаются на подающий направляющий накопитель (рольганг) (рис. 67), после этого подающий механизм подводит трубу под зону захвата. Захват осуществляется зажимными патронами на штангах (рис. 68). Засчет зажима трубы с двух сторон патронами обеспечивается вращение трубы при проходе через индуктор.



Рисунок 67 – Подающий направляющий накопитель



Рисунок 68 – Зажимной патрон на штанге

После захвата (зажима) трубы, начинается ее подача через индуктор (рис. 69) – основной этап заковки. На расстоянии 50-80 мм от индуктора установлен водяной спрейер, который осуществляет непрерывное резкое охлаждение образца после нагрева. Для контроля температуры используется лазерный пирометр (рис.70), луч лазера которого наведен на участок нагрева трубной заготовки.



Рисунок 69 – Прохождение трубы через индуктор



Рисунок 70 – Лазерный пирометр

После прохождения цикла закалки труба перемещается в зону приемки. Зажимные штанги разжимаются, и труба падает на направляющий накопитель (рис. 71), с которого образцы попадают в ванну с моющим раствором. Далее автоматическим подъемным механизмом, образцы достают из ванны. После этого этапа цикл закалки считается завершенным. По выше описанному циклу в ходе эксперимента были закалены образцы № 1-15 по режимам, указанным в таблице 13.

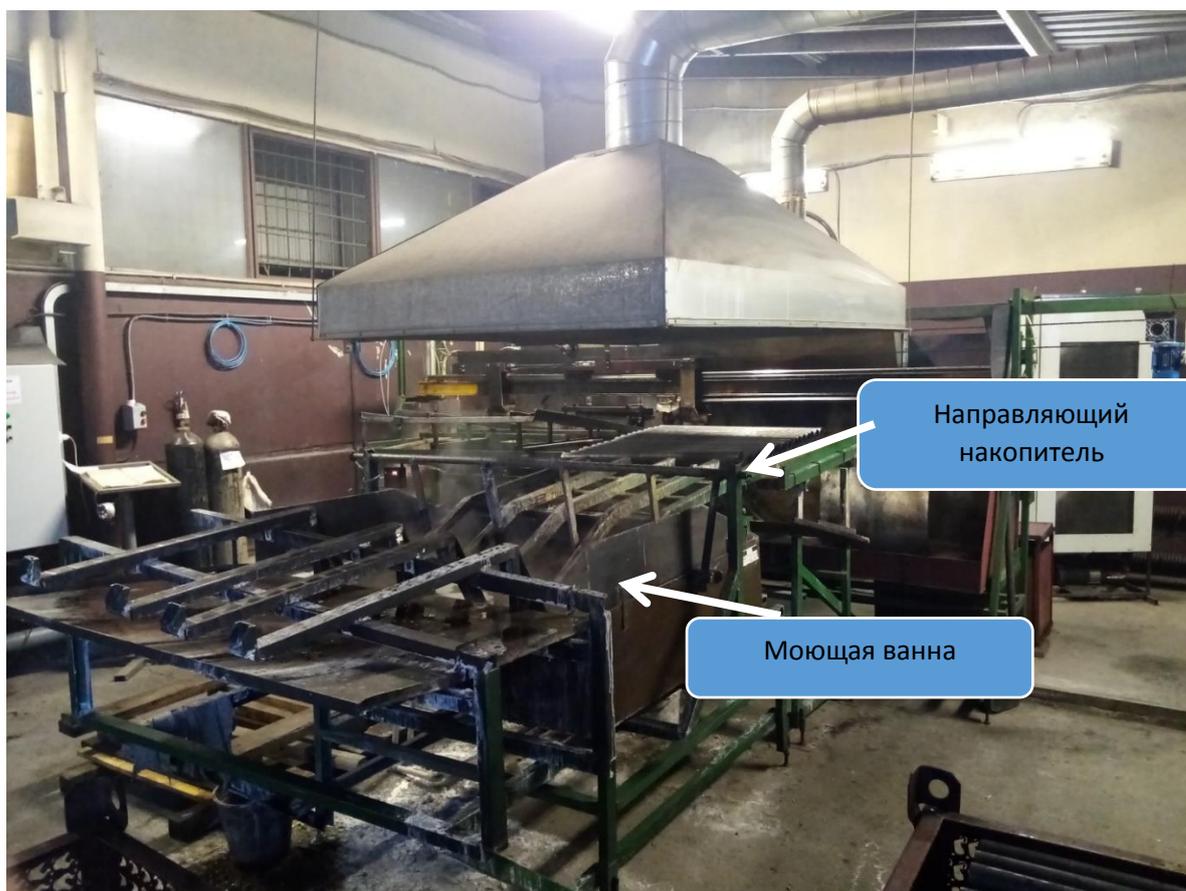


Рисунок 71 – Направляющий накопитель и моющая ванна в составе установки ТВЧ №3

3.6 Получение результатов

Результаты исследования геометрических параметров представлены в таблице 14. Результаты проведения химического анализа материала представлены в таблице 15.

Таблица 14 – Карта замеров двадцати экспериментальных образцов (результаты исследования геометрических параметров)

№	Диаметр 25-0,2 мм		Длина 500±0,5 мм		Косина реза 0,3 мм max		Кривизна 0,5 мм max	Толщина стенки 1,5±0,08 мм	
	min	max	min	max	1 торец	2 торец	-	тело	шов
1	24,89	24,98	500,10	500,15	0,00	0,05	0,3	1,49	1,51
2	24,89	24,97	500,00	500,20	0,10	0,10	0,25	1,48	1,52
3	24,90	24,96	500,05	500,25	0,10	0,10	0,20	1,49	1,50
4	24,86	24,98	500,05	500,15	0,05	0,10	0,20	1,47	1,49
5	24,88	24,99	500,10	500,25	0,05	0,10	0,25	1,48	1,52
6	24,87	24,96	500,10	500,20	0,05	0,05	0,15	1,46	1,51
7	24,88	25,00	500,05	500,20	0,05	0,10	0,20	1,47	1,53
8	24,86	24,97	500,05	500,25	0,10	0,10	0,15	1,48	1,50
9	24,86	24,96	500,05	500,20	0,10	0,05	0,25	1,49	1,52
10	24,85	24,98	499,95	500,15	0,10	0,10	0,20	1,49	1,51
11	24,88	24,98	500,05	500,15	0,00	0,10	0,25	1,48	1,52
12	24,87	24,99	500,10	500,20	0,05	0,05	0,20	1,46	1,52
13	24,84	25,00	500,05	500,25	0,10	0,10	0,15	1,48	1,54
14	24,89	24,96	500,05	500,15	0,05	0,05	0,20	1,47	1,52
15	24,87	24,97	500,10	500,25	0,10	0,05	0,20	1,46	1,53
16	24,87	24,96	500,00	500,15	0,05	0,10	0,20	1,49	1,51
17	24,86	24,95	500,00	500,20	0,10	0,10	0,25	1,48	1,52
18	24,88	24,97	500,05	500,15	0,05	0,05	0,30	1,47	1,53
19	24,86	24,99	500,10	500,25	0,05	0,10	0,20	1,48	1,54
20	24,87	24,97	500,10	500,25	0,10	0,05	0,20	1,47	1,50

Таблица 15 – Результаты проведения химического анализа стали 08Ю

Содержание элементов, %									Марка по составу
C	Si	Mn	P	S	Al	Cr+Mo	Nb+Ti	B	
0,05	0,02	0,2	0,006	0,011	0,03	0,2	0,05	0,001	Сталь 08Ю
max 0,10	max x 0,5	max 1,1	max 0,025	max 0,025	min 0,015	max 0,5	max 0,22	max 0,005	Требования заказчика

Результаты расчета углерода эквивалентного:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \text{Mn}/6 + (\text{Cr}+\text{Mo}+\text{V})/5 + (\text{Ni}+\text{Cu})/15 = 0,05 + 0,2/6 + (0,2+0)/5 + 0 = 0,05 + 0,033 + 0,04 + 0 = 0,123.$$

Согласно требованиям стандарта ТЕР 320, величина $C_{\text{ЭКВ}}$ не должна превышать 0,45 [6].

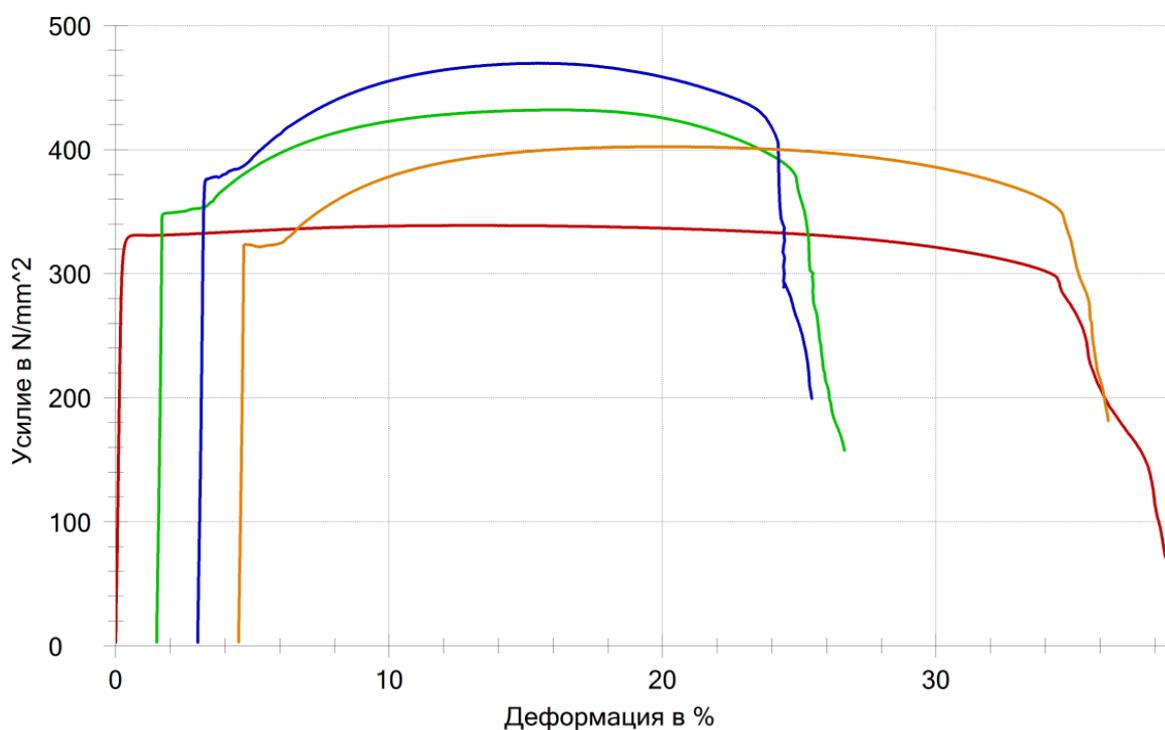
Результаты исследования механических свойств до и после термообработки (заковки) представлены в таблицах 16 и 17, а также на рисунке 72 (диаграмма нагружения).

Таблица 16 – Результаты испытаний образцов в виде сегмента трубы шириной 10 мм с головками

Температура заковки, °С	Номер образца	Наличие сварного шва	Растяжение					Твердость	
			a_0 , мм	$\sigma_{\text{тн}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	HRB	HV1
без ТО	16	без шва	1,43		329	351	51	59,0; 60,0; 60,5	106; 107; 108.
		со швом	1,44		422	448	27	69,0; 75,0; 71,0	123; 137; 127.
700	2	без шва	1,45	383		468	31	80,0; 81,0; 80,5	150; 153; 151.
		со швом	1,44	404		483	30	75,0; 73,0; 75,0	137; 132; 137.
650	7	без шва	1,45	389		487	29	82,0; 82,5; 83,5	156; 157; 160.
		со швом	1,45	423		507	27	73,0; 72,5; 73,5	132; 131; 133.
600	11	без шва	1,44	331		416	36	63,0; 63,5; 63,0	112; 113; 112.
		со швом	1,45	369		443	34	72,0; 72,0; 73,0	129; 129; 130.
Требования заказчика		без шва		320-380		400-460	≥ 25	По шву ≤ 160 HV1	

Таблица 17 – Результаты испытаний образцов в полном сечении (на пробках)

Температура закалки, °С	Номер образца	S_0 , мм ²	$\sigma_{тн}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	A_g , %	A_5 , %
без ТО	16	104,9		328	339	13,0	41
700	2	105,0	377		470	12,3	27
650	7	104,4	349		432	14,3	-
600	11	105,0	323		402	15,2	35
Требования заказчика			320-380		400-460	≥ 10	≥ 25



Красная кривая – № 16; Зеленая - № 7; Синяя - № 2; Оранжевая - № 11

Рисунок 72 – Диаграммы растяжения образцов труб в полном сечении (на пробках)

*На диаграммах образцов после термической обработки проявляется площадка текучести.

Результаты металлографического анализа представлены в таблице 18 и на рисунках 73-76. Металлографический анализ проводился на образце № 11, так как у него самые лучшие показатели по механическим свойствам.

Таблица 18 – Проверенные показатели образца трубы №11
(температура под закалку 600 °С)

Проверенные показатели	Фактические результаты		
Дефекты шва	Не выявлено		
Микроструктура	Основной металл: феррит, цементит, рисунок 74.	ЗТВ: феррит, цементит, рисунок 75.	Шов: феррит, цементит рисунок 76.
	Обезуглероживание не выявлено		

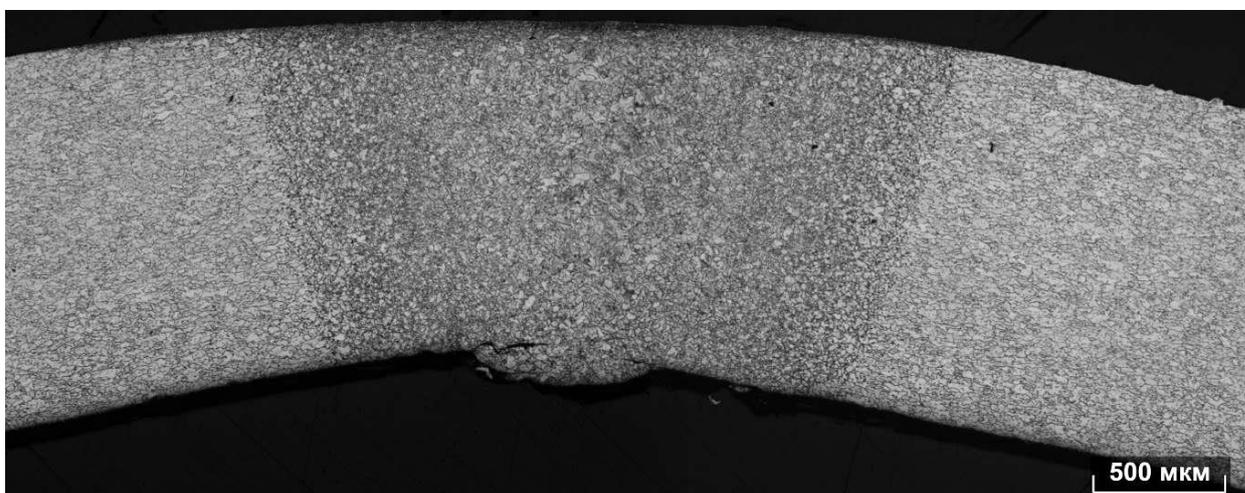
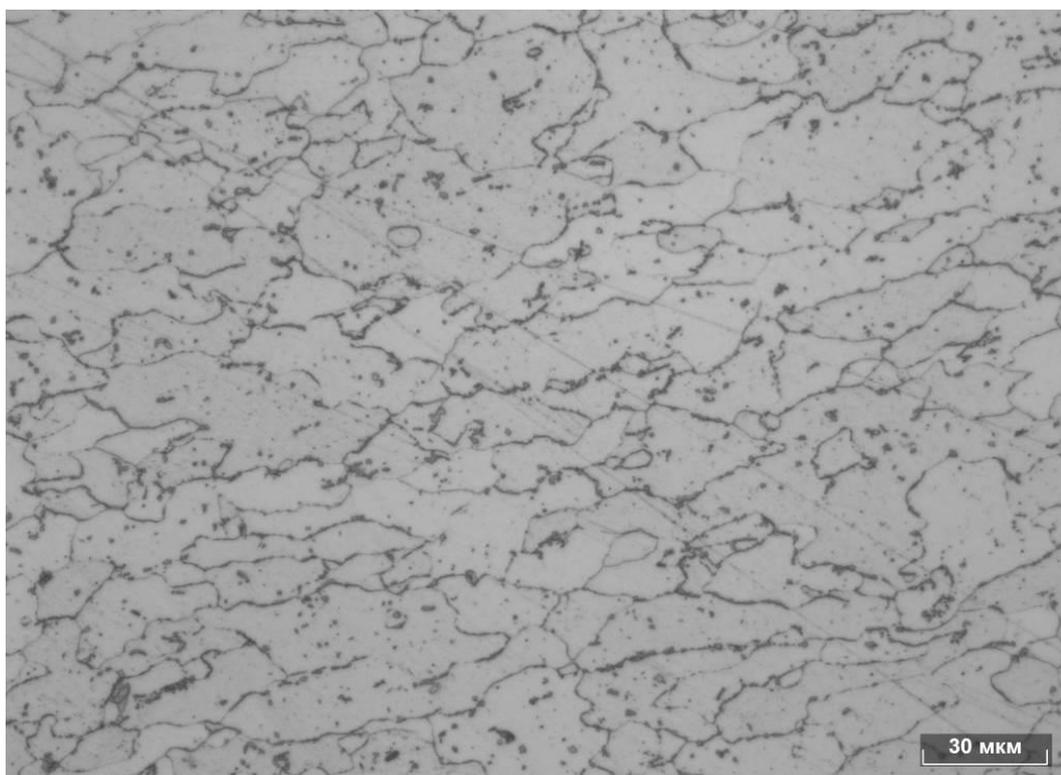
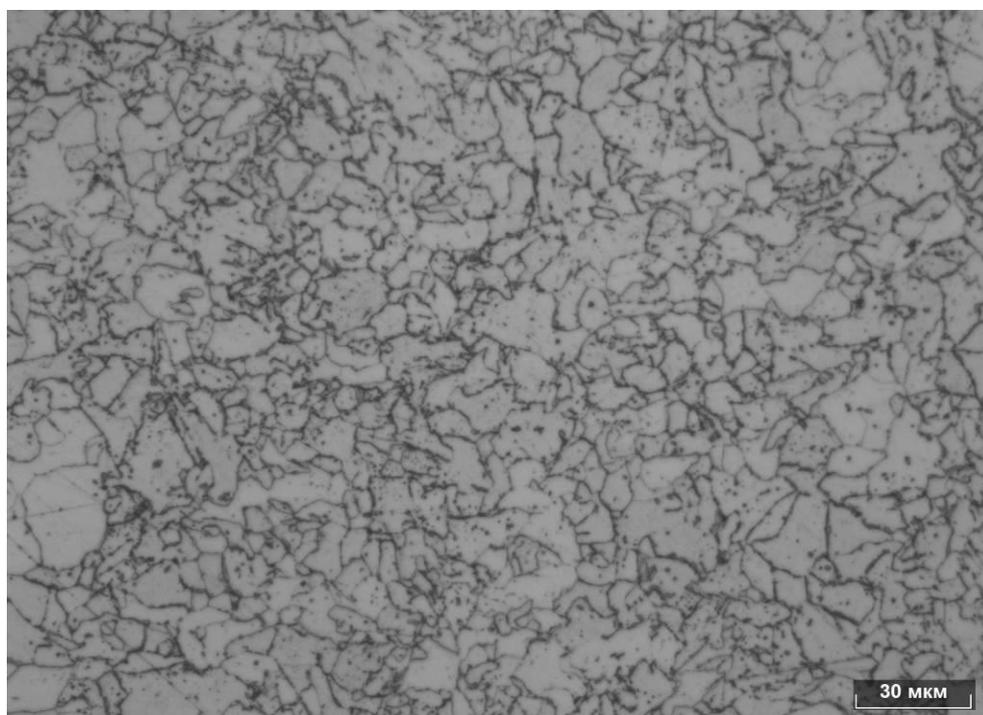


Рисунок 73 – Макроструктура сварного шва образца №11 трубы 25x1,5



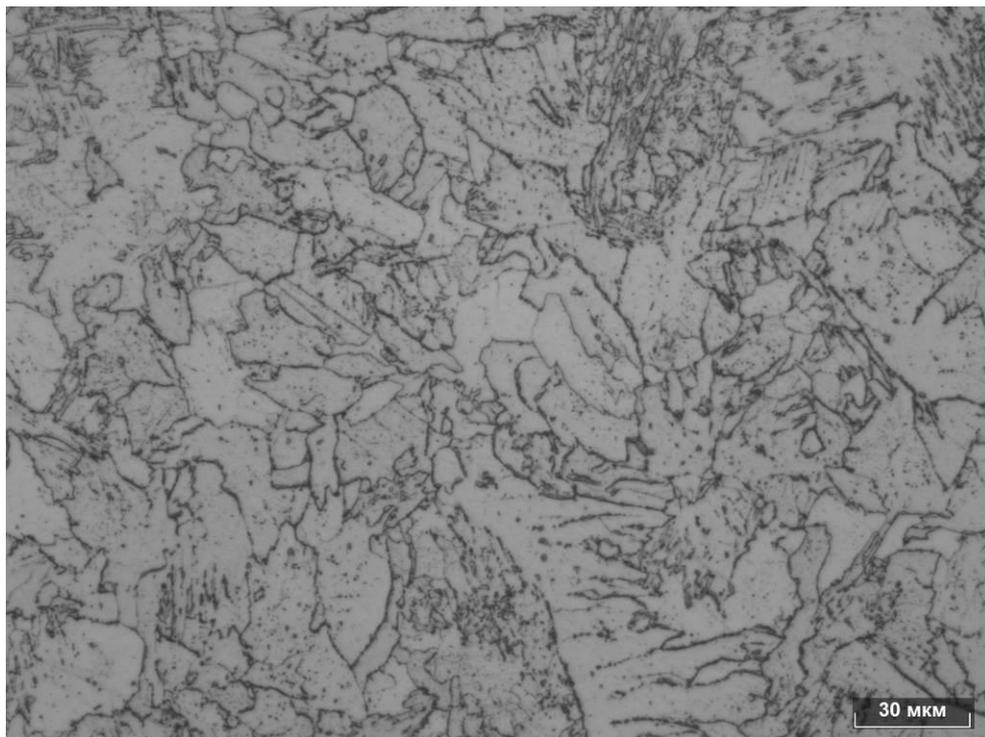
x500

Рисунок 74 – Микроструктура основного металла трубы $\text{Ø}25 \times 1,5$
(феррит, цементит)



x500

Рисунок 75 – Микроструктура ЗТВ трубы $\text{Ø}25 \times 1,5$
(феррит, цементит)



x500

Рисунок 76 – Микроструктура шва трубы $\text{Ø}25 \times 1,5$
(феррит, цементит)

Результаты испытаний на сплющивание и раздачу конусом представлены на рисунках 77-82.



Рисунок 77 – Раздача образца №11-1 до 40,03 мм (без трещин)



Рисунок 78 – Раздача образца №11-2 до 39,07 мм (без трещин)



Рисунок 79 – Сплющивание образца №11-1 без трещин по сварному шву



Рисунок 80 – Сплющивание образца №11-2 без трещин по сварному шву

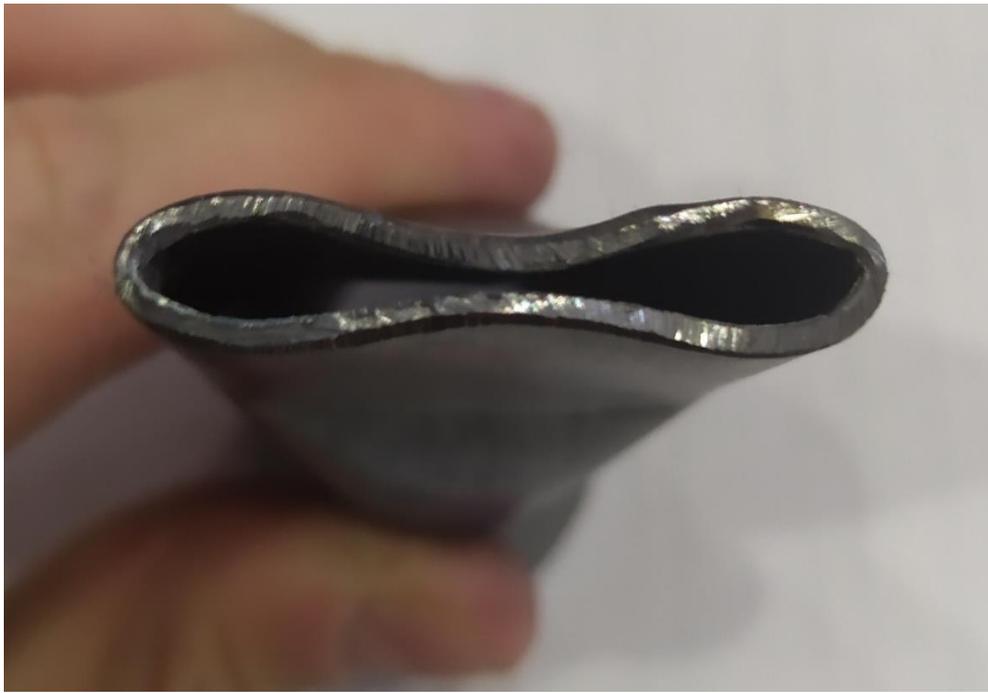


Рисунок 81 – Сплющивание образца №11-1 (вид с торца)



Рисунок 82 - Сплющивание образца №11-2 (вид с торца)

3.6.1 Анализ полученных результатов

Результаты химического анализа показывают, что сталь 08Ю подходит под требования заказчика к материалу (см. табл. 15). Расчетная величина

углерода эквивалентного $C_{\text{экв}}$ находится в допустимых пределах ($0,123 < 0,45$).

Результаты исследования механических свойств показывают, что наилучшие результаты показывает образец с закалкой температуры $T = 600$ °С (образец № 11). Показатели предела прочности, предела текучести, относительного удлинения и твердости полностью соответствуют установленным требованиям. При температурных режимах $T = 650$ °С и $T = 700$ °С происходит повышенное упрочнение, что выводит показатели за верхние пределы допуска. У образца без термообработки показатели основного металла и сварного шва слишком расходятся, и показатели основного металла не соответствуют требованиям (табл. 16 и табл. 17).

Результаты металлографического структурного анализа показывают, что на образце №11 не выявлено обезуглероженного слоя, а структура металла однородная (феррит, цементит) и не имеет мелкозернистых включений (см. рис. 73-76).

В процессе испытания на раздачу и сплющивание не было выявлено трещин ни на сварочном шве, ни на основном металле.

В ходе проведения исследований эксперимента по достижению физико-механических свойств, требуемых заказчиком, положительных результатов удалось добиться при закалке на температуре $T = 600$ °С. При данном режиме термообработки выдерживаются все требования, установленные к трубной заготовке. На основании данных результатов можно сделать вывод о том, что имеется целесообразность применения вышеизложенного экспериментального процесса для изготовления трубной заготовки по нормативным требованиям заказчика. Также результаты исследований подтверждают тот факт, что в состоянии поставки без применения термической обработки на стали 08Ю требования заказчика выполнить невозможно.

4 Разработка технологии изготовления электросварной трубы по требованиям стандарта ТЕР 320

4.1 Выбор оборудования для технологии изготовления трубной заготовки Ø25x1,5

В качестве сварочного оборудования в рамках эксперимента использовался трубоэлектросварочный стан ТЭСА 30-63,5. При изготовлении трубы Ø25x1,5 агрегат данного типа показал хорошие результаты производительности ($V_{св} = \text{до } 35 \text{ м/мин}$), поэтому его применение в проектной технологии целесообразно. Также для изготовления трубы Ø25x1,5 могут быть использованы станы других типов – ТЭСА 10-60, ТЭСА 20-76, ТЭСА 20-114, так как при наличии необходимой сварочной и калибровочной оснастки, мощностей данных типов станом будет достаточно для изготовления вышеуказанного типа трубы.

В качестве оборудования для порезки допустимо использовать любой полуавтоматический/автоматический станок для резки труб. В ходе эксперимента использовался отрезной полуавтоматический станок HVS-375DR, также он будет использоваться в проектной технологии. Для порезки трубы в заготовки также могут использоваться и другие полуавтоматические и автоматические отрезные линии при наличии необходимой оснастки и возможности захвата трубы диаметром 25 мм.

В качестве оборудования для термообработки в проектной технологии будет использоваться установка ТВЧ №3, аналогично с экспериментальными работами. Допускается использовать установки такого же типа с сопутствующим оборудованием, которое обеспечит сохранение ранее установленных технологических режимов.

4.2 Выбор материала

В ходе проведения работы над магистерской диссертацией проводились исследования химического состава, физико-механических свойств и структуры материала сталь 08Ю после термической обработки. Выбор данной марки стали для эксперимента был обусловлен тем, что полученные данные по химическому составу стали 08Ю подходят под требования стандарта ТЕР 320.

Полученные результаты исследований показали, что сталь 08Ю допускается использовать в проектной технологии.

Исходя из результатов, для проектной технологии выбираем холоднокатаный прокат, который по точности изготовления обеспечит выполнение требований по толщине стенки. Требования (допуски) к толщине стенки – $1,5 \pm 0,08$ мм. Данные требования обеспечит холоднокатаный прокат стали 08Ю по ГОСТ 19904-90 «Прокат листовой холоднокатаный» с повышенной точностью изготовления по толщине (А).

4.3 Выбор параметров режима

Для разработки проектной технологии изготовления трубы $\varnothing 25 \times 1,5$ необходимо определить параметры режимов на операциях «Сварка концов ленты», «Трубосварка» и «Термообработка». Параметры режимов операции «Порезка» будут взяты исходя из типовых режимов резки аналогичного типа труб, так как данная операция не влияет на конечные свойства трубы.

На операции «Сварка концов ленты» параметрами режима являются сила тока сварки, напряжение дуги, скорость подачи сварочной проволоки, расход защитного газа и скорость сварки. В ходе эксперимента на данной операции использовались параметры режима, изложенные в таблице 19, они же будут применены в проектной технологии. Так как стыковочный шов

вырезается из трубы при изготовлении, и соответственно, не влияет на конечные свойства, то нет необходимости в его экспериментальной корректировке.

Таблица 19 – Параметры режима сварки концов ленты 1,5 мм сталь 08Ю

Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход защитного газа, л/мин	Скорость сварки, мм/мин
160-170	19-25	200±20	20-25	150-200

На операции «Трубосварка» основными параметрами режимов являются частота тока, скорость сварки, мощность на генераторе и характеристика индуктора.

Так как труба с размерами Ø25x1,5 серийно изготавливается на трубоэлектросварочном агрегате ТЭСА 30-63,5, то в ходе экспериментальных работ были использованы типовые параметры режима, которые обычно используются для данного диаметра трубы и для данной толщины стенки. Эксперимент показал, что применение этих режимов позволяет получать трубу необходимого качества. Это значит, что геометрические параметры были обеспечены на данных режимах. Также годность трубы подтверждают испытания на конусную раздачу и сплющивание. Параметры режимов высокочастотной сварки трубы Ø25x1,5 показаны в таблице 20.

Таблица 20 – Параметры режимов сварки трубы Ø25x1,5

Частота тока, кГц	Скорость сварки, м/мин	Мощность, кВт	Хар-ка индуктора
125-145	25-35	90-110	2 витка, трубка Ø10x1, внут. Ø витка 42 мм

На операции «Термообработка» имеются следующие параметры режима – мощность на генераторе тока, частота тока, скорость перемещения через индуктор, характеристика индуктора, температура воды.

Температурный режим, согласно данным экспериментальных работ, определяется параметрами мощности, частоты и скорости перемещения. В данной исследовательской работе проводились эксперименты с несколькими температурными режимами. По результатам эксперимента было определено, что подходящим температурным режимом является диапазон температур от 600 °С до 630 °С (см. гл. 3, п. 3.6). Параметры режимов для данной операции указаны в таблице 21.

Таблица 21 – Параметры режимов термообработки трубы Ø25x1,5 сталь 08Ю

Температура нагрева, °С	Мощность, кВт	Частота тока, кГц	Скорость перемещения, мм/сек	Хар-ка индуктора	Т воды, °С
600-630	45-50	60-65	32-35	2 витка, трубка Ø10x1, внут. Ø витка 42 мм	10-13

4.4 Проектирование технологического процесса изготовления трубы размерами Ø25x1,5 под требования стандарта ТЕР 320

Карта технологического процесса изготовления трубной заготовки Ø25x1,5 согласно требованиям стандарта ТЕР 320 будет выглядеть так, как указано в таблице 22.

Таблица 22 – Карта технологического процесса изготовления трубной заготовки согласно требованию стандарта ТЕР 320.

№ Оп.	Наименование операции	Оборудование	Параметры режима	Технические требования
005	Входной контроль	Микрометр МТ-25	-	Контролировать толщину проката по всей ширине ленты. Не допускаются расслоения, разрывы, забоины, закаты, царапины, превышающие допуск на толщину ленты, коррозия. Проверка сопроводительного сертификата качества.

Продолжение таблицы 22.

010	Сварка концов ленты	ВДГ-506	<p>И_{св} = 160-170 А, У_д = 19-25 В, V_{пп} = 200±20 м/ч Qз.г. = 20-25 л/мин V_{св} = 150-200 мм/мин</p>	Однородный плотный шов, варить на медной подкладке
015	Контроль сварки концов ленты	-	100% контроль	Визуальный контроль 100%. Не допускаются поверхностные непровары, трещины, кратеры, задиры, свищи. Дефектный стык необходимо переварить.
020	Сварка трубы в автоматическом режиме	ТЭСА 30-63,5	<p>v = 125-145 кгц V_{св} = 25-35 м/мин N = 90-110 кВт</p>	Использовать индуктор на 2 витка, трубка Ø10x1, внут. Ø витка 42 мм. На запуске требуется провести испытание на сплющивание и раздачу, провести контроль геометрических параметров. Старт поточного производства строго после получения одобрения от службы технического контроля.
025	Контроль	Цифровой штангенциркуль ШЦЦ-1-150-0.01 Микрометр МТ-25 Пресс для раздачи и сплющивания	Контроль трубы после запуска и переналадки	Контроль диаметра производить на торцах и в середине трубы, контроль толщины стенки производить на торцах трубы по основному металлу и по шву трубы, внутренний грат не допускается. Раздача до диаметра 42 мм, сплющивание по ГОСТ 8695-75. Не допускается разрыв по сварному шву в процессе испытания
030	Перемещение длинномерных труб на участок порезки	Кран-балка	-	Перемещать не более 1 пакета труб за раз.

Продолжение таблицы 22.

035	Порезка	HVS-375DR	V = 250 об/мин S = 0,3 мм/об	Торцовка 20 мм. Рез должен быть прямой, не допускаются заусенцы и расслоения на торцах.
040	Зачистка заусенцев	Станок для зачистки торцов ADIGE	500 шт в час.	Заусенцы должны быть сняты полностью, визуальный контроль торцов оператором 100%
045	Контроль длины	Штангенциркуль ШЦ-III-1600-0,05	5 штук каждый час.	Не годную продукцию поместить в изолятор брака. Первую годную деталь идентифицировать.
050	Термическая обработка (закалка)	Установка для термообработки ТВЧ №3	Tн = 600-630 °C N = 45-50 кВт v = 60-65 кГц V = 32-35 мм/сек Tв = 10-13 °C	Использовать индуктор на 2 витка, трубка Ø10x1, внутренний Ø витка 42 мм. Контроль твердости каждый час, а также при запуске и после каждой остановки установки ТВЧ (запланированной и незапланированной)
055	Контроль ТО (периодические испытания)	Разрывная универсальная машина Z150	По 2 образца основного металла и шва с каждой партии на разрыв.	Испытания на разрыв по ISO 6892-1 (ГОСТ 1497 ИСО 6892-84).
060	Порезка в размер 500 мм	HVS-375DR	V = 250 об/мин S = 0,3 мм/об	Торцовка 20 мм. Рез прямой, не допускаются заусенцы и расслоения на торцах.
065	Зачистка заусенцев	Станок для зачистки торцов ADIGE	500 шт в час.	Заусенцы должны быть сняты полностью, визуальный контроль торцов оператором 100%
070	Контроль длины и косины реза	ШЦ-III-600-0,05 Угольник поверочный УЛП	5 штук каждый час.	Не годную продукцию поместить в изолятор брака. Первую годную деталь идентифицировать. Косина реза не более 0,3 мм.

Продолжение таблицы 22.

075	Упаковка, комплектация	Тара 1465.525	1000 деталей в таре.	Упаковывать согласно рабочей инструкции (РИ) на упаковку. Заготовки укладывать ровными рядами согласно схеме в РИ. Высота уложенных заготовок не должна достигать края тары (100 мм до верхнего края тары). Тара должна быть уложена упаковочной бумагой, бумага должна закрывать детали после окончания комплектовки. Упаковочные листы и бирки ОТК должны быть приклеены к таре.
080	Хранение	Автопогрузчик	$T_{\text{воздуха}} = -10 \text{ C}^{\circ} - +35 \text{ C}^{\circ}$ Влажность не более 85%	При перевозке тары на склад забирать автопогрузчиком не более 3 контейнеров.

Вышеописанную технологию необходимо дополнительно проверить на двух опытно-промышленных партиях, каждая из которых должна быть объемом не менее 2000 деталей, с повышенным уровнем контроля (до 100% на особо ответственных операциях). Это необходимо сделать для полноценной оценки стабильности процесса, для выявления новых, ранее незафиксированных дефектов и отклонений. После подтверждения стабильности и воспроизводимости технологического процесса в рамках предпроизводственного аудита, изготовитель, совместно с заказчиком, выдает разрешение на поставку. После этого этапа технология будет являться официально валидированной.

Заключение

В ходе работы с данной магистерской диссертации были проведены исследования процесса высокочастотной сварки прямошовных стальных труб, а также был исследован процесс поверхностной закалки данного типа труб. Были рассмотрены основные особенности данных процессов, в том числе физический процесс формирования сварочного шва, и проведен анализ проблем применения электросварных труб из отечественных материалов.

Были также рассмотрены основные виды изделий из электросварных труб и их типовые дефекты.

На основании установленных проблем были предложены практические варианты решения, на основании которых были сформированы задачи выпускной квалификационной работы.

Проведенные экспериментальные работы и исследования по формированию физико-механических и структурных свойств на стали 08Ю показали, что для изготовления электросварных прямошовных стальных труб согласно нормативных требований стандарта TEF 320 ее можно применять с учетом использования процесса поверхностной закалки ТВЧ.

Исходя из результатов исследований, была разработана технология изготовления электросварных труб по требованиям стандарта TEF 320.

Выводы

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были достигнуты поставленные цели и задачи:

- 1) Определена методика и порядок экспериментальных работ по достижению необходимых свойств на электросварных прямошовных трубах из стали 08Ю;

2) Проведены экспериментальные работы с несколькими технологическими режимами на установке ТВЧ по достижению необходимых физико-механических свойств на электросварных трубах из стали 08Ю;

3) Проведены комплексные исследования на трубных заготовках, которые были получены в ходе экспериментальных работ, на соответствие нормативным требованиям стандарта ТЕР 320;

4) Разработана технология изготовления электросварных прямошовных трубных заготовок в соответствии со стандартом ТЕР 320.

На основании всего вышеописанного можно сделать вывод, что цель данной работы - разработка технологии изготовления трубных заготовок из отечественного материала, которая обеспечит выполнение требований зарубежного стандарта – выполнена.

Список используемых источников

1. ГОСТ 10705-80 Трубы стальные электросварные. Технические условия [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2005. - 25 с.
2. ГОСТ 1050-2013Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия [Текст]. – введ. 2015-01-01. – М.:АО «Кодекс», 2015. – 44 с.
3. ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки [Текст]. – введ. 2008-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 15 с.
4. ГОСТ 9045-93 Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия [Текст]. – введ. 1997-01-01. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003. – 19 с.
5. EN 10305-3:2016 Steel tubes for precision applications – Technical delivery conditions – Part 3: Welded cold sized tubes [Текст]. – Brussels: CEN-CENELEC Management Centre, 2016. – 24 с.
6. Material Data Sheet for tube TEF 320 FST-S-DSX-0003 [Текст]. – Nanterre: Faurecia Automotive Development, 2018 – 5 с., ил.
7. ГОСТ 8694-75 Трубы. Метод испытания на раздачу [Текст]. – введ. 1977-01-01. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
8. ГОСТ 8695-75 Трубы. Метод испытания на сплющивание [Текст]. – введ. 1977-01-01. - М.: Стандартинформ, 2010. – 4 с.
9. ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86) Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу [Текст]. – введ. 1969-01-01. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 16 с.
10. ГОСТ 10006-80 (ИСО 6892-84) Трубы металлические. Метод испытания на растяжение [Текст]. – введ. 1980-01-01. - М.: Стандартинформ, 2010. – 8 с.

11. ГОСТ 18895-97 Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа [Текст]. – введ. 1998-01-01. - Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 12 с.
12. ГОСТ 1778-70 (ИСО 4967-79) Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений [Текст]. – введ. 1972-01-01. - М.: Стандартиформ, 2011. – 40 с.
13. ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84) Металлы. Методы испытания на растяжение [Текст]. – введ. 1986-01-01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 25 с.
14. Стряхилев Р.А. Механизм формирования прямошовных труб малых диаметров токами высокой частоты / Р.А. Стряхилев, Г.М. Короткова // Сварка-пайка-обработка материалов давлением: сборник материалов XIV и XV студенческих научно-технических конференций / под ред. В.В. Ельцова, А.С. Климова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 218 с.: обл.
15. Акулов А.А. Пайка провода индуктирующего установок ТВЧ / А.А. Акулов, А.Л. Федоров // Сварка-пайка-обработка материалов давлением : сборник материалов XIV и XV студенческих научно-технических конференций / под ред. В.В. Ельцова, А.С. Климова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 218 с.: обл.
16. Соколова О.В. Прогнозирование качества прямошовных сварных труб // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». 2011. № 06. С. 1-8. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/188220.html/>
17. Гузенков В.Н. Скорость производства труб на трубоэлектросварочных агрегатах // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 4. С.110-113.
18. Михайлов С.В. Усовершенствование инструмента для удаления внутреннего грата с электросварных труб // С.В. Михайлов, Н.Ю. Ковеленов, С.В. Болотских // Металлообработка. 2015. № 1. С.50-53.
19. Mandal Nisith R. Ship Construction and Welding [Electronic resource] / Nisith R. Mandal. – Singapore: Springer, 2017. – 322 p. - Access mode:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-981-10-2955-4.pdf/> - (дата обращения 12.04.2020).

20. Influence of the temperature and strain rate on the structure and fracture mode of high-strength steels upon the simulation of the thermal cycle of welding and post-welding tempering [Electronic resource] / U. A. Pazilova [et al.] // The Physics of Metals and Metallography. – 2015. – Vol. 116, nr 6. – P. 606–614. – Access mode:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1134%2FS0031918X1506006X.pdf/> - (дата обращения 12.04.2020).

21. Hu Zhang. High frequency characters of arc light radiation in micro plasma arc welding with pulsed current [Electronic resource] / Hu Zhang, Jianping He, Liulei Tang, Jinan Zhang. - Results in Physics (2019). – Access mode: <https://rd.springer.com/article/10.1007/s12111-014-4515-8/> - (дата обращения 03.05.2019).

22. D. Kim. Estimation of Weld Quality in High-Frequency Electric Resistance Welding with Image Processing [Electronic resource] / D. Kim, T. Kim, Y. W. Park, K. Sung, M. Kang, C. Kim, C. Lee, and S. Rhee. – Welding Journal (2017). – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/290329903_Estimation_of_weld_quality_in_high-frequency_electric_resistance_welding_with_image_processing/ - (дата обращения 03.05.2019).

23. Satish Garg. Optimisation of High Frequency Seam Welding Parameters By Taguchi Method [Electronic resource] / Satish Garg, SS Banwait and Ravneet Kumar. - Asian Journal of Engineering and Applied Technology (2016). – Access mode: <https://rd.springer.com/article/10.1007/s11661-016-3335-8/> - (дата обращения 03.05.2019).

24. Holger Brauer. Deformation behavior of HFI-welded pipes – some examples of present applications [Electronic resource] / Holger Brauer, Susanne Höhler, Marion Erdelen-Peppeler, Gerard Jonkergouw. - PTC 2015 Berlin (2015). –

Access mode: <https://www.pipeline-conference.com/abstracts/deformation-behaviour-hfi-welded-pipes---some-examples-present-applications/> - (дата обращения 03.05.2019).

25. Hui-Feng Wang. Detection of HF-ERW status by neural network on imaging [Electronic resource] / Hui-Feng Wang, Jing Cao, Xiang-Mo Zhao, Xiao-Meng Wang, Gui-Ping Wang. - International Journal of Precision Engineering and Manufacturing (2017). - Access mode: <https://rd.springer.com/article/10.1007/s12541-017-0110-8/> - (дата обращения 03.05.2019).

26. Бобылев Ю.Н. Особенности автоматизации контроля и регулирования величины внутреннего грата электросварных прямошовных труб [Электронный ресурс] / Ю.Н. Бобылев, В.В. Тарасов, Б.Н. Любомиров // Доклад на симпозиуме «Неделя горняка – 98». – Москва, МГГУ, 2.02.98-6.02.98. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-avtomatizatsii-kontrolya-i-regulirovaniya-velichiny-vnutrennego-grata-elektrosvarynyh-pryamoshovnyh-trub/> - (дата обращения 13.04.2020).

27. Иванов В.Н. Высокочастотная сварка металлов / В.Н. Иванов, И.В. Лунин, В.Л. Кулжинский, под ред. А.Н. Шамова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 1993. – 72 с.: ил. (Б-чка высокочастотника-термиста; Вып. 14).

28. Потапов И.Н. Технология производства труб: Учебник для вузов / И.Н. Потапов, А.П. Коликов, В.Н. Данченко. – М.: Металлургия, 1994, 528 с.

29. Слухоцкий А.Е. Индукторы / Под ред. А.Н. Шамова – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 69 с.: ил. – (Б-чка высокочастотника-термиста; Вып. 12).

30. Ассонов А.Д. Технология термической обработки деталей машин / А.Д. Ассонов. – М.: Машиностроение, 1969. – 264 с.: ил.

31. Богданов В.Н. Применение сквозного индукционного нагрева в промышленности / В.Н. Богданов, С.Е. Рыскин. – М.-Л.: изд. «Машинстроение», 1965. – 96 с.: ил.
32. Бодажков В.А. Индукционный нагрев труб / В.А. Бодажков. – Изд-во «Машинстроение», 1969. – 152 с.: ил.
33. Бодажков В.А. Объемный индукционный нагрев / В.А. Бодажков, под ред. А.Н. Шамова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 1992. – 72 с.: ил. – (Б-чка высокочастотника-термиста; Вып. 9).
34. Глуханов Н.П. Физические основы высокочастотного нагрева / Н.П. Глуханов. – М.-Л., Изд. «Машиностроение», 1965. – 80 с.: ил.
35. Головин Г.Ф. Технология термической обработки металлов с применением индукционного нагрева / Г.Ф. Головин, Н.В. Зимин, под ред. А.Н. Шамова – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1990. – 87 с.: (Б-чка высокочастотника-термиста; Вып. 3).
36. Демичев А.Д. Поверхностная закалка индукционным способом / А.Д. Демичев. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979. – 80 с.: ил. – (Б-чка высокочастотника-термиста).
37. Немков В.С. Теория и расчет устройств индукционного нагрева / В.С. Немков, В.Б. Демидович. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1988. – 280 с.: ил.
38. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программ специалитета, программ магистратуры. – Тольяттинский государственный университет, 2020. – 39 с., ил.