

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 кафедры)

22.04.01. «Материаловедение и технология новых материалов»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических материалов»

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему: Влияние технологических параметров механизированной сварки  
сплошной проволокой в защитных газах на формирование сварного шва.

Студент

Ю.А. Тужилин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент О.В. Шашкин

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

Тольятти 2021

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ объекта исследования.....	5
1.1 Анализ исходных данных .....	9
1.2 Анализ разновидностей способов сварки .....	12
1.3 Анализ физических и механических свойств основных металлов .....	12
1.4 Анализ разновидностей свойств сварочных материалов .....	14
1.5 Анализ сварочного оборудования .....	18
1.6 Области применения способов сварки .....	21
2 Методы исследований процессов и свойств сварных соединений .....	22
2.1 Методы проведения исследования неразрушающего контроля сварных соединений .....	22
2.1.1 Методы проведения визуально измерительного контроля..	26
2.1.2 Методы проведения капиллярного метода контроля .....	30
2.1.3 Методы проведения радиографического контроля.....	34
2.2 Методы проведения исследования разрушающего контроля сварных соединений .....	38
2.2.1 Методы проведения твердости .....	38
2.2.2 Методы проведения механических испытаний сварных соединений .....	42
2.2.3 Методы исследования металлографических исследований.....	49
3 Результаты проведенных исследований сварных соединений .....	52
3.1 Проведение исследований .....	52
3.2 Результаты проведения неразрушающего контроля сварных соединений.....	65
3.3 Результаты проведения разрушающего контроля сварных соединений .....	66
3.4 Экономическое обоснование .....	69

Заключение.....	72
Список используемых источников.....	74
Приложение А. Инструкция сварочного оборудования .....	78

## Введение

На протяжении последних десятилетий в мире актуальным стал вопрос о выборе сварочного материала, а точнее выбор диаметра проволоки для изготовления металлоконструкций механизированной сваркой.

Широким спросом пользуется сварочная проволока сплошного сечения является  $\varnothing 1.2\text{мм}$  и  $\varnothing 1.6\text{мм}$ .

Целью исследования является определение влияния проволоки Св-08Г2С диаметрами 1.2мм и 1.6мм на процесс сварки и анализ производительности, расхода проволоки, механических свойств сварного соединения, тепловложения, деформации и подбора сварочного оборудования.

Для определения целесообразности выбора необходимого диаметра проволоки провели ряд испытаний. Главной целью является производительность сварочного процесса, что влечет за собой себестоимость продукции.

Основными параметрами при сварке являются сила тока и подача сварочной проволоки.

Для достижения цели по выбору диаметра проволоки проведены нижеуказанные испытания:

- 1) Влияние силы тока на тепловложение, расход проволоки, температуру и разбрызгивание;
- 2) Влияние скорости подачи проволоки на тепловложение, расход проволоки, температуру и разбрызгивание.

Данные испытания покажут влияние силы тока и подачу проволоки на тепловложение, расход проволоки, температуру и разбрызгивание.

Целью всей работы является повышение качества и производительность с последующим снижением себестоимости за счет выбора оптимальных параметров технологического процесса сварки.

## 1 Анализ исследования

### 1.1 Анализ исходных данных

Для проведения испытаний заварены:

1. Два контрольно-сварных соединения (КСС) С 17 ГОСТ 14771-76, толщина пластины 14мм (рисунок 1, 2);
2. Наложение сварного шва на пластину, толщина пластины 10мм (рисунок 3, 4);
3. Сварка двух пластин в стык без скоса кромок С2 ГОСТ 14771-76, толщина пластины 10мм (рисунок 4, 5, 6).

Исходные данные:

- пластины 150х300мм;
- материал 09Г2С;
- положение: вертикальное
- количество проходов: три.
- сварочная проволока  $\varnothing 1.2$ мм и 1.6мм Св-08Г2С



Рисунок 1 – Проволока  $\varnothing 1.2$ мм



Рисунок 2 – Проволока  $\text{Ø}1.6\text{мм}$

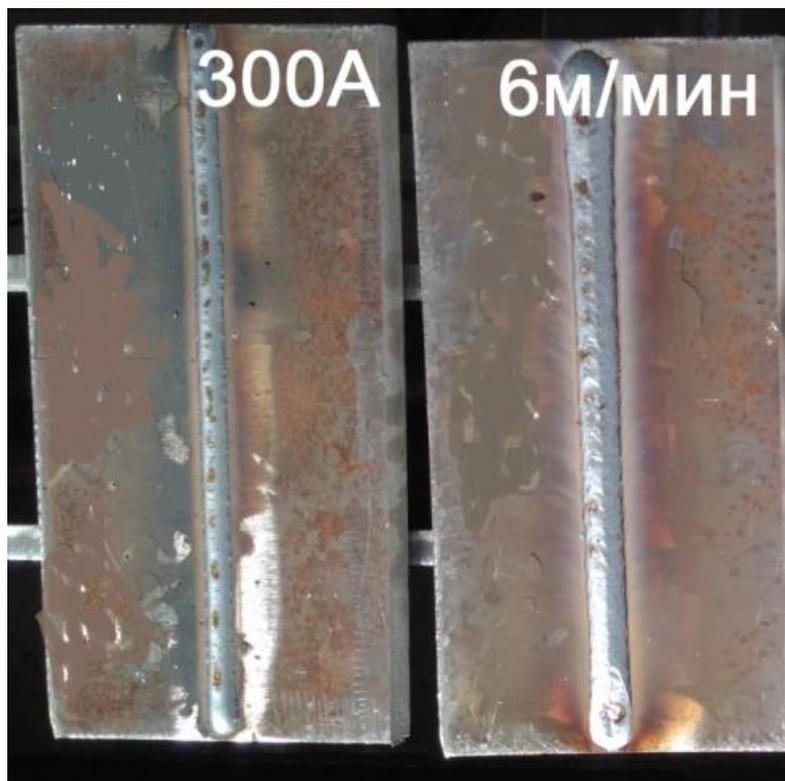


Рисунок 3 – Проволока  $\text{Ø}1.6\text{мм}$

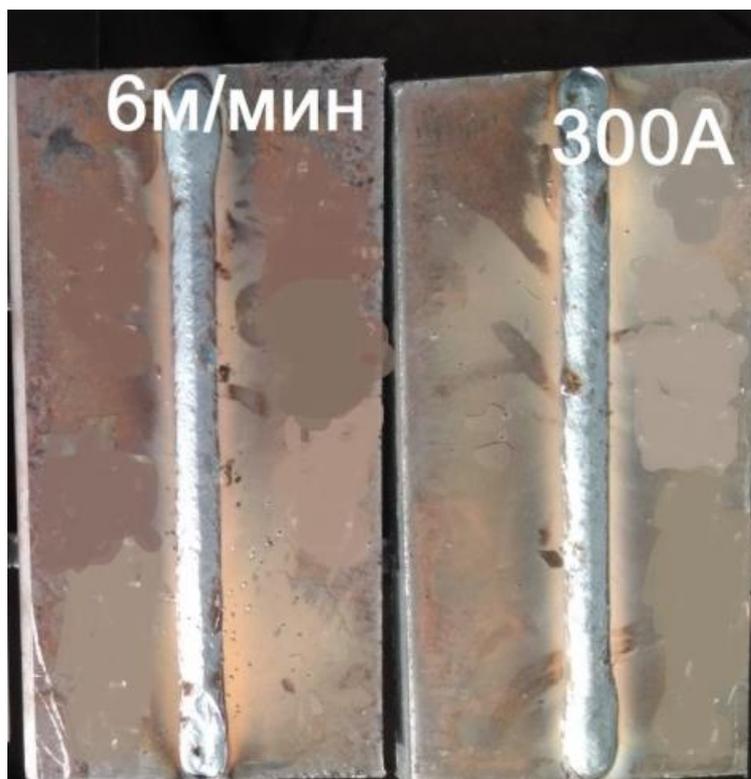


Рисунок 4 – Проволока  $\varnothing 1.6\text{мм}$



Рисунок 5 – Сборка образца



Рисунок 6 – Заваренные образцы

Поэтапный процесс проведения исследований включает в себя подготовку:

- пластина - сталь 09Г2С, 14x150x300мм, 10x150x300мм;
- проволока св-08Г2С диаметр 1.2мм и 1.6мм;
- измерительные электронные весы;
- угловая шлифовальная машинка:
  - 1) зачистка пластин под сварку
  - 2) замер веса образца до сварки
  - 3) замер веса кассеты проволоки до сварки

Выполнение процесса сварки. Сварное соединение: С17 ГОСТ 14771-76, С2 ГОСТ 14771-76. Источник питания: сварочный аппарат: Fronius марки TPS 500i PULSE, с применением автоматической тележки Fronius модель FDV 22MF. Процесс сварки включает следующие этапы:

- 1) Сварка образцов согласно таблицы №6 (три прохода, положение нижнее, Ø1.2мм 150-210А и Ø1.6мм 220-368А);
- 2) Замер времени сварки;
- 3) Замер температуры образца во время сварки.

Измерение проводилось измерительно-электронными весами:

- 1) Замер веса образца после сварки;
- 2) Замер веса кассеты проволоки после сварки.

После занесения всех данных в таблицу производился анализ разновидностей способов сварки.

## 1.2 Анализ разновидностей способов сварки

Способов сварки существует достаточно много, рассмотрим все более подробно. [36]

Дуговая ручная сварка. Самый распространенный способ сварки. Защита шва за счет обмазки, выделяющей при горении дуги.[37]

Автоматическая дуговая сварка под слоем флюса. Применяют при серийности производства и прямолинейными и круговыми швами. Сварку ведут под слоем флюса.

Сварка в защитных газах. Сварка производится плавящимися или неплавящимися (вольфрамовыми) электродами в струе нейтральных газов (аргон, гелий).

Электрошлаковая сварка необходима для соединения крупных заготовок. Сварочный процесс формируется в зазоре за счет плавления проволоки под слоем синтетических шлаков.

Контактная сварка. Сварка небольших сечений. Деталей сжимают гидравлическим прессом и включают ток, доводя металл на стыке до пластичного состояния.

Ацетилено-кислородная сварка производится за счет пламени в горелки.

Присадочный материал это проволока и пруток близкого по составу к металлу.

Механизированная сварка – это процесс электродуговой сварки, при этом сварочная проволока подается в сварочную ванну с защитным газом, при котором идет защита сварочной ванны и основного металла от воздействия кислорода. Защитный газ применяется и подается из специальных баллонов через газовой редуктор.[34]

Соответственно, весь технологический процесс сваривания металлоконструкций изготавливается в ручную. Этот процесс дает сохранить основные достоинства ручной сварки, так как при этом повышается эффективность а так же производительность мех. труда. Эти особенности

достигаются за счет применения сварочной проволоки без отрыва сварки в отличие от РД.[35]

Механизированная сварка ведется более жестким контролем сварочного процесса. Удобство в том что сварщик, при выполняя работу, может сразу наблюдать за формированием сварного шва а так изменить режимы сварочного процесса. Этот контроль со стороны электросварщика позволяет получать качественные сварные соединения с высоким качеством [15].

При механизированной сварке применяют самозащитную проволоку.

В состав оборудования входит источник питания, подающий механизм блок управления и держатель сварочной проволоки.

Подающее устройство в полуавтоматических сварочных аппаратах очень важно. Виды механизированной сварки различаются в том каким способом осуществляется защита сварного шва от влияния атмосферы:

- в среде углекислого газа;
- в среде газовой смеси на основе аргона;
- в среде чистого 100% аргона;
- порошковыми газозащитными и самозащитными проволоками.

Классификация основных видов сварки представлена на рисунке 7. На рисунке 8, изображено оборудование и приспособления для сварки в среде защитных газов [15].

- 1 - Горелка
- 2 - Сопло
- 3 - Токоподводящий наконечник
- 4 - Электродная проволока
- 5 - Сварочная дуга
- 6 - Сварной шов
- 7 - Сварочная ванна
- 8 - Основной металл
- 9 - Капли электродного металла
- 10 - Газовая защита

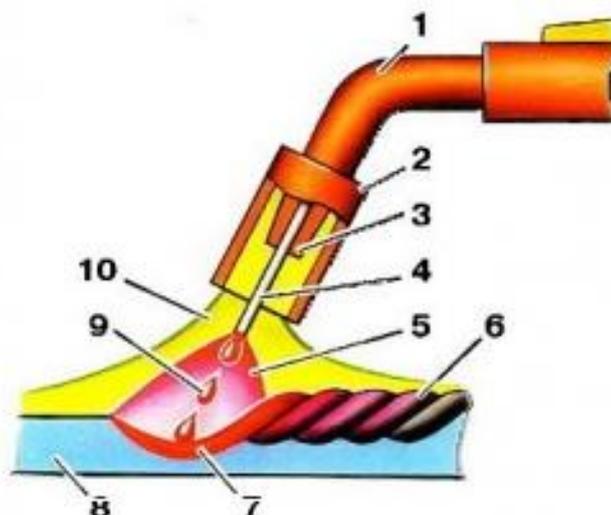


Рисунок 7 – Классификация видов сварки

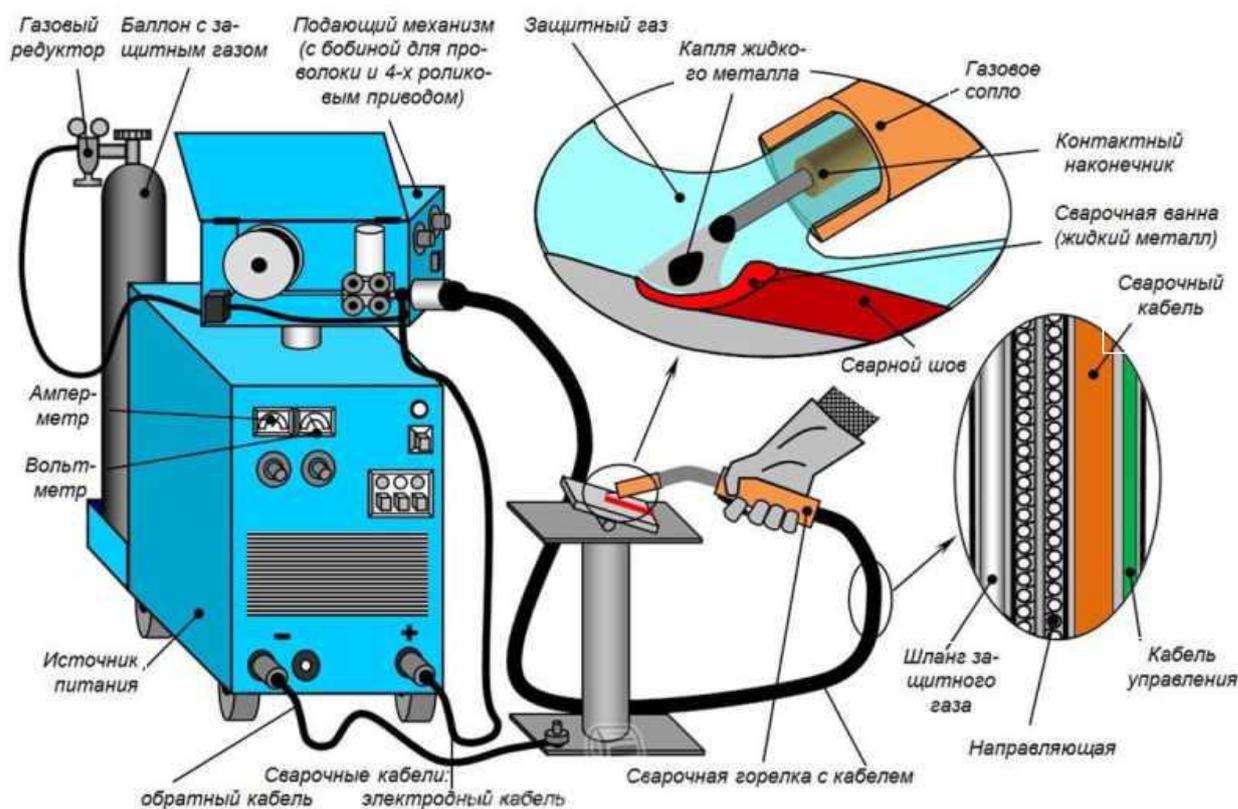


Рисунок 8 – Оборудование и приспособления для сварки в среде защитных газов

### 1.3 Анализ физических и механических свойств основных металлов

Сталь листовая 09Г2С, входит в класс конструкционных сталей, так же применяется при сварке изделий, работающих при  $t$  – окр. среды от -65 до +430 °С. Хим. состав 09Г2С указан в Таблице 1.

Таблица 1 - 09Г2С - хим. состав

	C	Si	Ni	P	N	As	Mn	Fe	Cr	S	Cu
09Г2С	до 0.13	0.6-0.9	до 0.4	до 0.034	до 0.007	до 0.07	1.4-1.8	97-98	до 0.4	до 0.05	до 0.4

Свариваемость данного вида сталей без ограничений, с применением основных способов сварки, таких как ручная дуговая сварка, АФ, МП и другие. Данный материал не склонен к хрупкости и трещинообразованию. Обработывается резанием в нормализованном и отпущенном состояниях.

В таблице 2 представлены основные механические свойства материала, при различных температурах среды.

Таблица 2 –09Г2С мех. св-ва

Механические свойства стали 09Г2С при T=20 <sup>0</sup> С						
ГОСТ	Состояние поставки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	$\sigma_B$ (МПа)	$\delta_5$ (%)	
19282-73	Листы и полосы	от 10.0 до 30.0 вкл.	324	471	20	
Ударная вязкость КСУ (Дж/см <sup>3</sup> ) при низких температурах °С						
ГОСТ	Состояние поставки	Сечение, мм	КСУ при +20	КСУ при -40	КСУ при -40	
19281-73	Листы	от 10 до 20 вкл.	59	34	29	
Механические свойства 09Г2С при повышенных температурах						
Темп. испытания, °С			$\Sigma_{0,2}$ (МПа)	$\sigma_B$ (МПа)	$\delta_5$ (%)	$\psi$ (%)
Нормализация 935-955 °С						
20			310	470	32	64

Сталь 09Г2С – предназначена для сварки строительных конструкций большой мех. прочностью.

Легкая свариваемость.

Высокая мех. устойчивость к пониженным температурам.

Сварку производят с предварительным подогревом 100-120<sup>0</sup>С и без подогрева.

Сталь не снижается после проведения отпуска, так как не склонна к отпускной хрупкости.

Свойства стали 09Г2С не меняются даже после проведения термообработки в отличие от других марок хотя имеют большое кол-во присадок и содержание углерода.

При сварки стали 09Г2С используют электроды типов Э50А и Э42А.

Необходим подогрев изделия после сварки до 650<sup>0</sup>С, при выдержки 1 часа на каждые 25мм толщины проката.

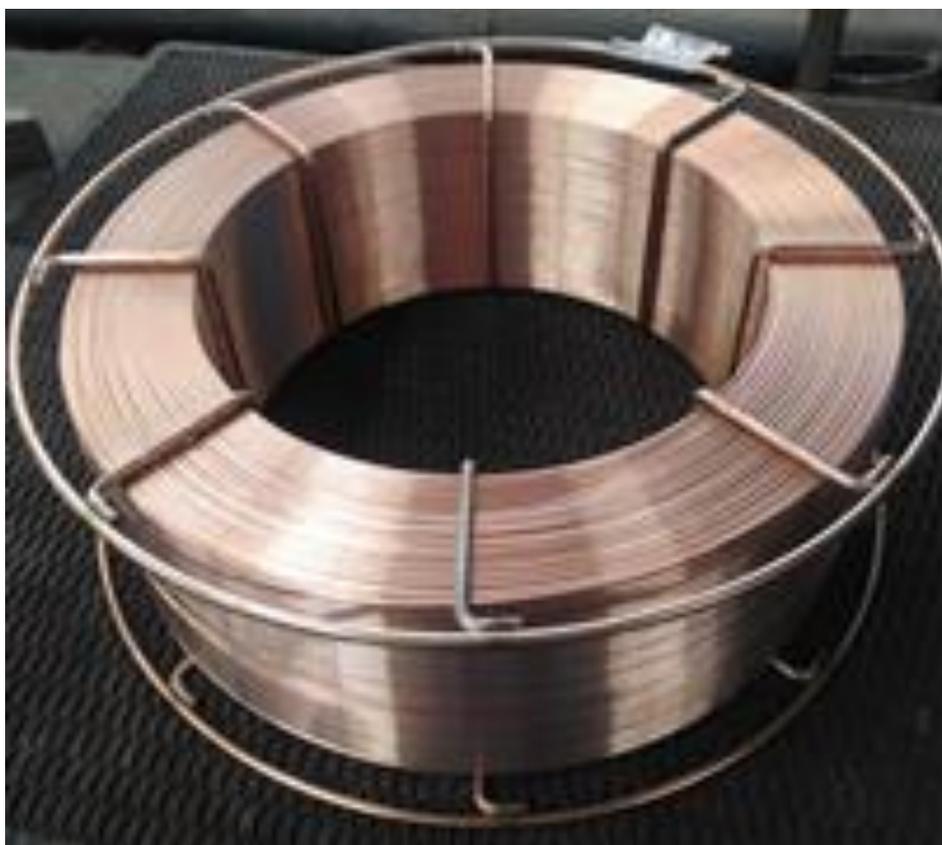
#### 1.4 Анализ разновидностей свойств сварочных материалов

Применяемые в данной исследовательской работе разновидности проволоки, диаметром 1.2 мм. и диаметром 1.6 мм. в кассе для установки в

источник подачи проволоки представлены на рисунке 9 и рисунке 10. Ниже рассмотрим анализ свойств данных сварочных материалов.



Рисунок 9 – Проволока  $\text{Ø}1.2$  мм.



## Рисунок 10 – Проволока Ø1.6 мм.

Сварочная проволока используется для сварки в инертных и активных смесях. Технология производства сварочной проволоки способствует стабильной подаче и минимальному разбрызгиванию в процессе сварки. Точное содержание примесей в хим. составе проволоки обеспечивают повышенные мех. и ударные св-ва наплавленного металла. В наплавленном металле имеется высокая стойкость к образованию дефектов в условиях нарушения меж.проходной  $t$  при сварке многопроходных швов.

Сварочная проволока используется для дуговой сварки изделий из конструкционных углеродистых низколегированных сталей с пределом текучести до 460 МПа в  $CO_2$  или смеси ( $CO_2$  20% + Ar80%). Химический состав материала по элементам, указан в таблице 3.

Таблица 3 – Хим. состав, %.

C	Mn	P	Si	Cu	Ni	S	Cr
0,05-0,11	1,80-1,90	≤ 0,030	0,70-0,95	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,020

Типовые механические свойства наплавленного металла данной проволокой представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Типовые мех. св-ва

Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Предел текучести, МПа	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	
			KCV <sup>-60°C</sup>	KCV <sup>-40°C</sup>
min 495	20-24	min 395	70	98

Сварочные положения и рекомендуемые режимы сварки:

- тип сварочного тока и полярность: DC (+)
- пространственные положения: все.

Защитный газ. Используется при сварке и защищает зону сварки от попадания вредных веществ из окружающей среды, и помогает выводить вредные вещества из сварочной ванны.

При сварочном процессе в расплавленном металле удаляется водород, кислород и др. вещества, находящийся в воздухе и ухудшающие качества сварного соединения. При защите сварочной ванны и расплавленного металла используют:

- инертные газы (Ar, He) защищают сварочную ванну, и не оказывают на металл металлургических воздействий. Смесь влияет наиболее интенсивному выделению тепла от эл. дуги;

- активные газы ( $\text{CO}_2$ , N, H), вступают в хим. реакцию с металлом и растворяются в нем. По своим св-ам, активные газы подразделяются на 3 группы:

- 1) газ с восстановительными св-ми (водород, оксид углерода);
- 2) газ с окислительными св-ми (углекислый газ, водяные пары);
- 3) газ с выборочной активностью к различным металлам (азот активен к перлитному классу, Al; инертен к Cu, медным сплавам).

- смеси инертных и активных газов. Смеси газов выбираются для хороших технологических свойств – к меньшему разбрызгиванию, хорошему формированию сварного шва. Для этого используется смесь  $\text{CO}_2$  (95%) и  $\text{O}_2$ .

Баллон с защитным газом аргон-углекислотной сварочной смеси представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Баллон защитного газа: Ar82%+ CO<sub>2</sub>18%

Аргон-углекислотная сварочная смесь используется при электродуговой полуавтоматической сварки при сварке сталей из углеродистой а также из низкоуглеродистой.

Сварочная смесь позволяет получить хорошою защиту шва и качественное сварное соединение при низкой потери на разбрызгивание. При помощи сочетания сварочных газов можно добиться увеличения производительности процесса сварки, за счет увеличения глубины проплавления металла и стабилизировать электрическую дугу при этом повысить качество шва.

Сжатый газ в баллоне 40л, рабочее давление газа при температуре 20 градусов С - 14,7 Мпа.

Характеристики:

- ГОСТ/ТУ - ТУ № 20.11.11-001-98148740-2017;

- давление, МПа / Вес нетто - 14,7 МПа;
- вид вентиля – Сальниковый;
- размер - 230 x 230 x 1430;
- материал – Сталь;
- объем баллона - 40л;
- диаметр - 219 мм.

### **1.5 Анализ сварочного оборудования**

В данной диссертации, процесс сварки производился с помощью источника питания - Fronius марки - TPS 500i PULSE (рисунок 12) а его основные рабочие характеристики, представлены в таблице 5.



Рисунок 12 – фирма Fronius TPS 500i PULSE

Сварочные оборудование марки TPS/i выполняют функцию полуавтоматической сварки. Это уникальное в мире сварочное оборудование с обменом данных 110 Мб/с. Управление сварочным процессом с помощью сенсорного экрана.

Таблица 5 – Характеристика источника питания

Название аппарата	TPS 500i PULSE
Напряжение питания	405-465V 50 Hz Исполнение MV: 232V-462V
Тип источника питания	Инверторный, 40 kHz, IGBT
Диапазон сварочного тока	6-500A
Напряжение холостого хода	71V
Рабочее напряжение	14,3 – 31V
Система управления	Цифровая микропроцессорная
Интерфейс	Графический
Управление	Сенсорный экран, ручка-кнопка
Механизм подачи проволоки	Встроенный 4-х роликовый
Вид охлаждения	жидкостное
Горелка	водоохлаждаемая, с кнопкой-триггером, с клавишами управления

Автоматическая тележка, для проведения сварочного процесса в автоматизированном режиме, представлена на рисунке 13.



Рисунок 13– Автоматическая тележка Fronius модель FDV 22MF

Сварочная каретка для механизированной сварки продольным швом процесс сварки.

MIG-MAG работающий на аккумуляторах, является универсальным сварочным трактором для механизированной сварки продольных швов. Его встроенный постоянный магнит обеспечивает оптимальное сцепление и оптимальное тяговое усилие для колес. Может также использоваться в вертикальном положении.

Преимущества. Сниженная высота для еще большего количества сварочных работ. Оптимальная производительность в жестких условиях окружающей среды. Безопасность благодаря соблюдению правил сварки внутренних поверхностей контейнеров. Сварка стала проще благодаря высокоэффективной литий-ионной батарее. Максимальное сцепление на горизонтальных, вертикальных, вогнутых и выпуклых деталях. Постоянная скорость сварки во всех положениях до 250 см/мин. Прецизионное ведение резака по компоненту.[33]

Определяемые сварочные сегменты. Постоянно высокое качество сварного шва и воспроизводимые параметры сварки в сочетании с технологией источника питания Fronius. Компактный, прочный и легкий алюминиевый корпус. Глобальная сервисная сеть. 4-колесный привод, встроенный постоянный магнит. Встроенный контроллер с подсветкой дисплея. Система измерения пути. Регулируемые боковые направляющие для точного отслеживания шва. Прочный универсальный держатель сварочных горелок для ручных и машинных сварочных горелок. Соединительный кабель источника питания (10 м) Сменная литий-ионная батарея (25,4 В/3,35 Ач).

Функции. Главный выключатель: включение/выключение. Влево/вправо Управление скоростью. Система управления на основе меню для сварки путей движения и сегментов. Сварка вкл/выкл (2-ступенчатый режим). Память на 10 программ.

## 1.6 Области применения способов сварки

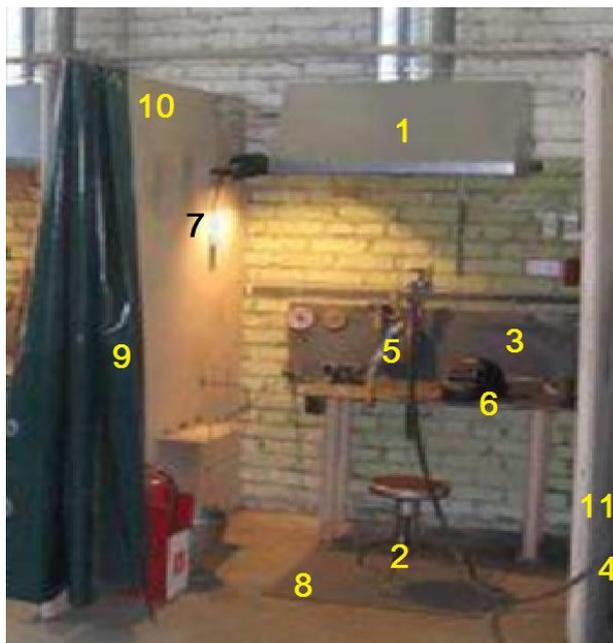
К видам электродуговой сварки является процесс в среде защ. газов аргонодуговая и в смесях. Одна из областей это применение данных способов электродуговой сварки деталей из тонколистового металла.

Механизированная сварка в газах может осуществляться механизированным способом с помощью сварочных автоматов и полуавтоматов, а так же вручную.

Сварку в защитных газах применяют для толщин свариваемых металлов от 0,1 мм до десятков миллиметров.

Механизированная сварка охватывают большой спектр материалов в различных сферах где применяются все виды сварки и обеспечивают высокое качество сварного соединения.

Сварочный пост представлен на рисунке 14.



1 - вытяжка, 2 - стул сварщика, 3 - стол сварщика, 4 - источник питания, 5 - сварочная горелка, 6 - маска сварщика, 7 - освещение, 8 – резиновый коврик, 9 – ширма, 10 – перегородка кабинки, 11 – баллон.

Рисунок 14 – Сварочный пост

## **2 Методы исследований процессов и свойств сварных соединений**

### **2.1 Методы проведения исследования неразрушающего контроля сварных соединений**

На сегодняшний день обширно применяются методы и средства неразруш.контроля ( НК ) изделий в машиностроении, способны проверять качество сварных соединений, не разрушая их работоспособность в дальнейшем. При исследовании физ. хар-ик материалов и обнаружение внутренних и наружных дефектов, являются основной причиной этих изменений, составляет физ. основу методов НК.

Достоинствами методов неразрушающего контроля являются хорошая надежность и точность контроля, вероятность применения неразрушающего контроля в поэтапном контроле деталей, вероятность применения методов неразрушающего контроля при эксплуатации, сравнительно ускоренный процесс контроля и др. В учебных пособиях имеется описание неких видов НК согласно ГОСТ 18353:

Каждый метод НК классифицируется по 3-м отличающимся признакам, из-за этого кол-во методов НК достаточно много. В работе указаны методы НК, которые достаточно емко описывают возможности того или иного вида НК в понятие качества деталей. В ряде отраслей промышленности методы неразрушающего контроля имеют большую часть в тех.процессе изготовления детали, а расходы на проведение контроля равны с затратами на изготовление детали.

Виды дефектов. Изготовление деталей на производственных площадках сварочно-сборочных узлов часто выявляются дефекты, которые можно характеризовать и выделить как дефекты, связанные с электродуговой сваркой:

- дефекты геометрии сварного шва;
- наружные а так же внутренние дефекты;

К дефектам при подготовке и сборки-сварки является:

- неправильный угол фаски сварного шва;
- неравномерно притупление по фаске;
- неравномерный зазор промеж кромок по длине стыка;
- не параллельность стыковых соединений;
- грязные кромки соединения.

Дефекты в сварочных швах обуславливаются изменением геометрии формы и размера сварного шва, указанных в НД.

При сварке сварных соединений различными методами, сварные швы имеют разные геометрические размеры, выпуклости, провалы. Похожие дефекты понижают прочность сварного соединения и приводят к появлению горячих или холодных трещин. Поверхностные дефекты это - наплывы, подрезы в основном металле, незаплавленные кратеры, сквозные прожоги. Наплывы появляются в результате скатывания расплавленного материала на не расплавленный материал бесплавления с этим материалом. Подрезы – это лыски в основном материале, находящиеся по краям сварного шва. Глубина подреза варьируется от десятков до пары мм. Они сокращают основную толщину пластины, и могут создать напряжения от применяемых нагрузок и быть причиной разрушения сварного шва при эксплуатации.

Подрезы в сварных швах а именно в угловых и стыковых, находящиеся перпендикулярно действию на них сил, приведёт к уменьшению вибрационной прочности.

Кратер – это занижение проявляющиеся в конце сварного шва при резкой остановке сварочного процесса. Размерность кратеров зависят от различной величины сварочного тока и в основном колеблется 3мм - 20мм. Не заваренные кратеры уменьшают прочность шва, при воздействии нагрузки при вибрации.

Прожоги – дефект в виде сквозного отверстия в сварочном шве, часто всего появляется при сварке стали маленькой толщины и в верхних слоях в

многослойных сварных швах, и при сварке по технологии снизу с подъемом вверх на вертикальных сварных швах.

Внутренними сварными дефектами являются поры, трещины, а также непровары, шлаковые включения и несплавления.

Поры – это пустоты, заполненные газом с размерами  $\varnothing 0,1$  мм –  $\varnothing 3$  миллиметра. Поры, поднимающиеся на поверхность, бывают также больших размеров. Многими причинами одинаковой внутренней пористости имеет загрязненность свариваемого соединения по фаскам стыка, применение увлажнённого сварочного флюса или сырых сварочных электродов. Большая вероятность появления газовых пор при сварочном процессе алюминия а также титана. Шлаковые включения в сварном соединении – это небольшие объёмы, наполненные не металлическими веществами, это шлак а так же оксиды.

Шлаковые включения в широком смысле разделяют на два вида микроскопические а также макроскопические. Они встречаются различной формы: круглые и шарообразные, а также плоские на подобие пленки или продолговатые по форме вытянутых «хвостов». В сравнении с дефектами в виде пор, шлаковых включений они имеют крупные размеры, в связи с этим они хорошо выявляются с помощью магнитного и ультразвукового метода контроля.[32] Оксидные плёнки появляются почти во всех способах сварки, причинами их появления такие же, как и появление шлаковых включений.

Несплавления, Непровары – это вид дефектов, возникающие в сварном шве причиной неполного расплавления сварных кромок и поверхностей первых валиков в многослойном сварном шве. Несплавления а так же непровары отчетливо выявляются ультразвуковым контролем.

Трещины это частичное разрушение в сварном шве или соединении в виде небольшого разрыва металла, они являются опасным видами дефектов для действующих нормативных документах - недопустимыми. Так же различают явление горячих а так же и холодных трещин в сварных соединениях, содержащую отличающую физическую природу появления и

отличающие размеры вот поэтому не одинаково отображают ультразвуковые колебания из-за этого по-разному выявляются при проведения контроля.

Главные дефекты в сварных соединениях, осуществлённых контактной дуговой сваркой, так же делятся как наружные и на внутренние.

Методика НК. Инновационное машиностроение, это авиа а так же ракетостроение, необходимы высокие требования к материалам с высоким качеством, и к изготовлению высокоточных деталей, сборочно-сварочных узлов. Данные требования необходимы при постоянно возникающими напряженными условиями постоянной работы конструкций. На сегодняшний день в конструкциях авиа аппаратов огромная часть используется при повышенных статических нагрузках.

При магнитных св-тв металла формы а так же и размеры контролируемых деталей используют 2 способа намагничивания 1) способ приложенного магнитного поля, а так же 2) способ остаточной намагниченности. Сведения о магнитной проницаемости а так же изменении соответствии от напряженности магнитного поля вычисляют с помощью катушки индуктивности.

Радиоволновой метод неразрушающего контроля необходим в регистрации фиксации изменений необходимых для параметров электромагнитных волн. В основном используют волны сверхвысокой частоты в пределах от 1...100 миллиметра и проверяют изделия из изготовленных материалов.

Ёмкостный вид используют для проведения контроля диэлектрических а так же полупроводниковых материалов в изделие. По преобразованию диэлектрической проницаемости сверяют хим.состав пластмасс а так же полупроводников, при наличие в них пустот, влажность в материалах и др. Данный вид применяют для контроля определённой толщины проводящего слоя у полупроводников, на присутствие в них пустот.

Информативными параметрами считается амплитуда и фаза с вектором поляризации, так же частота и необходимое время распространения колебаний в материале.

Капиллярные способы и методы это проникновение жидкости в пустоты выявляемых дефектов исследуемых соединений. Предназначенные данные жидкости нашли своё применение при обнаружении плохо видимых скрытых поверхностей.

Методы течеискания – это выявление сквозных дефектов в сосудах. Используемое вещество проникает в пустоты дефекта и за счет действия капиллярных сил и давления идет процесс вытягивания жидкости на поверхность шва. Процесс фиксируется за счет выделения жидкости с обратной стороны изделия.

Выбирая данный метод неразрушающегося контроля всегда нужно рассматривать характер возможность определённого дефекта и его месторасположение, настройка чувствительности.

### **2.1.1 Методы проведения визуально измерительного контроля**

Визуальный и измерительный контроль это метод НК, он основан на восприятие человеческого глаза видимых дефектов. Для проведения необходимы простейшие измерительные устройства это как: рулетка, лупа, УШС и т.д. При помощи данных измерительных устройств можно обнаружить: коррозионные места, трещины на поверхности, поверхностные дефекты и пр. С помощью увеличительных приспособлений позволяет более обширно рассмотреть то что человеческий глаз не видит.

Данный контроль проводят для исследования материалов, а также сварных швов проводят по требованиям специально разработанной НТД, согласно РД 03-606-03.

Комплект для применения визуально-измерительного контроля представлен на рисунке 15.



Рисунок 15 –. Визуально-измерительный комплект ВИК экспертный комплект

Комплект визуально-измерительный предназначен:

- измерение основного материала;
- измерение сварных соединений;
- измерение наплавов;
- измерение деталей;
- измерение сборочных единиц;
- измерение поверхностных дефектов;
- измерение зазоров;
- измерение размеров кромок;
- измерение геометрии сварных швов;
- измерение конструктивных элементов.

Данный комплект соответствует всем требованиям РД 03-606-03.

При визуальном и измерительном контроле применяют: лупы, линейки, угольники, штангенциркули, щупы, угломеры, стенкомеры и толщиномеры, микрометры, нутромеры, калибры, эндоскопы, шаблоны, поверочные плиты.

Пример контроля шаблоном А.И. Красовского, представлен на рисунке 16, на рисунке 18, шаблоном УШС.

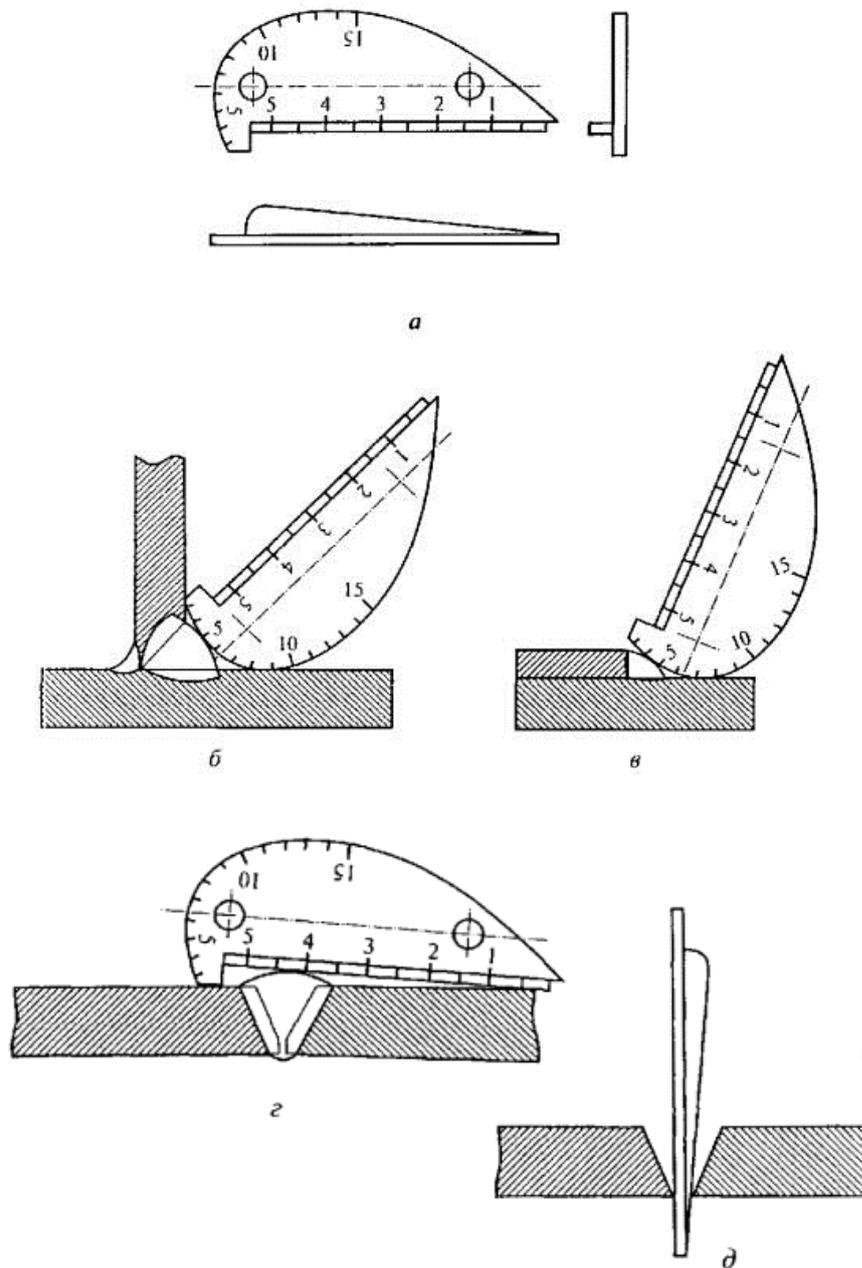


Рисунок 16 - Контроль шаблоном конструкции А.И. Красовского.

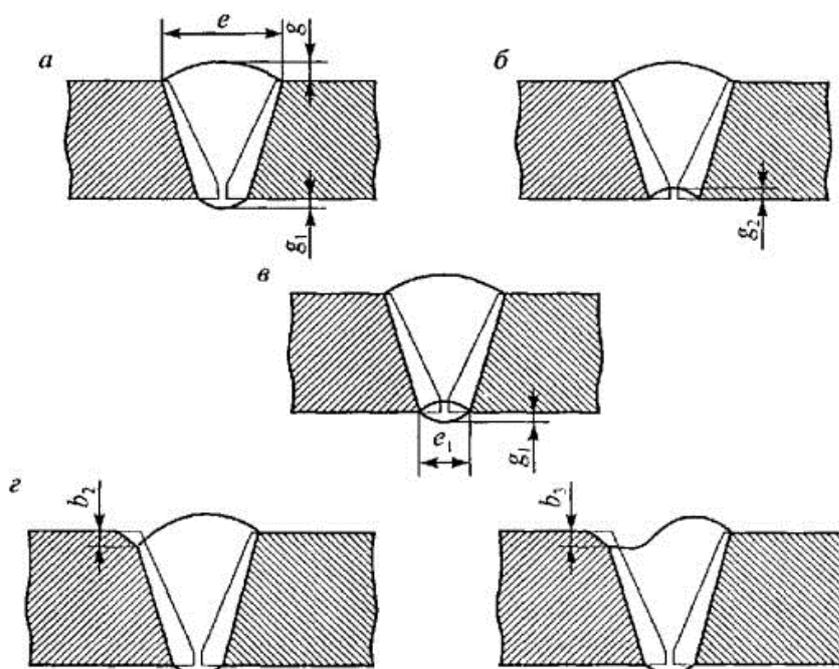


Рисунок 17 – Геометрия сварных швов

Основные требования к измерениям сварных соединений, и применяемый необходимый при этом инструмент, указан в таблице 6.

Таблица 6 - Требования к измерениям ВИК сварных соединений

Контролируемый параметр сварного шва	Средства измерений. Требования к измерениям
Ширина сварного шва	Штангенциркуль или шаблон универсальный.
Высота сварного шва	
Выпуклость обратной стороны сварного шва	
Вогнутость обратной стороны сварного шва	Штангенциркуль, в том числе модернизированный Измерения в 2 - 3 местах в зоне максимальной величины
Глубина подреза основного металла	Штангенциркуль, в том числе модернизированный Приспособление для измерения глубины подрезов
Катет углового сварного шва	Штангенциркуль или шаблон.
Чешуйчатость сварного шва	Штангенциркуль, в том числе модернизированный Измерения не менее чем в 4 точках по длине шва
Глубина западений между валиками сварного шва	
Размеры одиночных несплошностей	Лупа

В таблице приведены проверяемые параметры сварного соединения и средства измерений по требованиям к их измерениям.

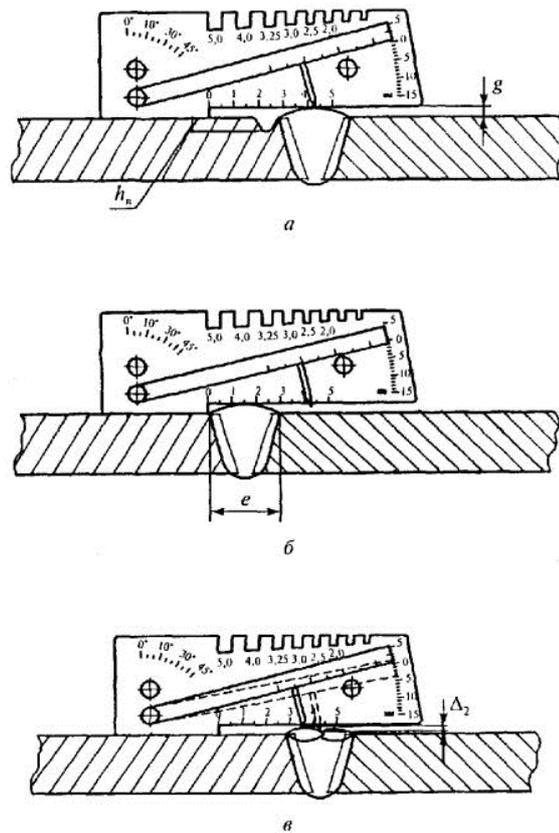


Рисунок 18 - Измерения сварного шва с помощью шаблона УШС

### 2.1.2 Методы проведения капиллярного метода контроля

Капиллярный метод контроля - это метод представляет собой один из многих и главных методов НК и необходим для выявления наружных и сквозных дефектов в контролируемых деталях и изделиях, определения их место, протяженности и их расположением на поверхности детали. Этот способ НК создан на капиллярном внедрении вглубь дефекта индикационных жидкостей, хорошо пропитывающий материал в изделия - контролируемая поверхность.

В соотношении с общими требованиями в многих случаях необходимо определять настолько малозаметные имеющиеся дефекты, что увидеть их при ВИК глазом почти нельзя. Тем временем, использование луп не допускает выявления поверхностных дефектов из-за слабой видимости вида и размера.

В данных случаях больше и чаще всего используется - капиллярный способ контроля. Этот метод дает возможность контролировать изделия

любых габаритов и разных форм, произведённых из многообразных материалов.

При проведении контроля красящее вещество наносится на проверяемую поверхность и при помощи своих спец. качеств под воздействием вытягивающих капиллярных сил попадает в малейшие дефекты, которые вытягиваются на поверхность контролируемого детали. Проявитель, нанесенный на контролируемую поверхность контролируемого детали, после определенное время и как после аккуратного удаления с контролируемой поверхности объекта краситель, растворяет находящийся внутри дефекта пенетрант. Так же за счет диффузии проявитель извлекает оставшийся в определённом месте дефекте пенетрант на поверхность испытываемого изделия. Данные дефекты просматриваются достаточно четко. При наблюдении видим следы линии это трещины и точки это поры

НК КМ происходит в пять этапов:

- Первоначальная очистка поверхности изделия. Чтобы пенетрант смог попасть в внутрь дефектов на контролируемой поверхности изделия протереть ветошью пропитанной водой или обезжиривающим раствором.

Так же поверхность детали контроля должна быть очищена. Впоследствии необходимо поверхность просушить от влаги.

- Нанесение красителя на поверхность объекта. Цвет пенетранта, чаще бывает - красный, наносится с помощью напыления при помощи аэрозоля так же можно кистью и валиком для лучшего проникновения в дефекты красителя.

- Процесс удаления индикаторного пенетранта. Индикаторный пенетрант удаляется с помощью протирки новой чистой ветошью, промывкой чистой водой, щетками или губкой пропитанной очистителем. Так же необходимо исключить вымывание красителя из возможных дефектов. После этого поверхность изделия необходимо просушить ветошью либо потоком чистого воздуха.

- Нанесение проявителя. Сразу после очистки от пенетранта и

просушки на контролируемую поверхность объекта наносится равномерно тонким слоем жидкий проявитель (чаще белый).

- Проведение контроля поверхности. Определение присутствия некоторых дефектов происходит только после проведения завершения процесса проявки краски. При осмотре выявляются и определяются индикаторные следы это могут быть полосы или точки. Насыщенность окраски данных следов указывает на глубину и ширину возможного имеющегося дефекта, чем меньше показывает интенсивность окраски, тем меньше может быть дефект. Яркую окраску имеют более сквозные или углубленные трещины в месте проверки. По завершению контроля необходимо убрать проявитель с места контроля с помощью ветоши смоченной водой или обезжиривающим раствором. [18]

Дефектоскопические средства для капиллярного контроля подбирают согласно требованиям и условиям, предъявляемым к контролируемому изделию. Они собираются в целевые наборы, в состав которых входят целиком либо частично взаимообусловленные совместимые дефектоскопические средства.

Сочетаемость дефектоскопических средств в наборах необходима. Материалы, входящие в состав набора не должны снижать эксплуатационные свойства материала изделия подвергающегося контролю.

Выявление дефектных следов, согласно вышесказанным дефектов по главным признакам, это является основой для рассмотрения допуска дефекта по его величине, расположению.

В соответствии с ГОСТ 18422-80 классом чувствительности испытания устанавливается с учетом размера обнаруженных дефектов. Поперечный размер дефекта при выходе на поверхность контролируемого изделия объекта контроля это называется шириной раскрытия дефекта, которая является главным основным параметром определения класса чувствительности в контроле. Наименьшая величина раскрытия

обнаруженных дефектов обозначается низким порогом чувствительности и довольствуется тем, что совсем небольшой объем красителя оставшийся в полости малого дефекта, является недостаточным для того, чтобы иметь контрастную индикацию при имеющейся толщине слоя проявителя. Есть и высокий порог чувствительности, когда из широких неглубоких трещин краситель легко смывается при удалении его лишних избытков на поверхности объекта изделия.

Согласно имеются пять классов чувствительности зависящих от величины дефектов и представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Классы чувствительности капиллярного контроля

Класс чувствительности	Ширина раскрытия дефекта, мкм
I	Менее 1
II	От 1 до 10
III	От 10 до 100
IV	От 100 до 500
технологический	Не нормируется

КК вместе с другими физ. ВИК, РГ, УЗК, МПК считается надежным и очень эффективным методом для определения таких типов возможных дефектов на любой поверхности изделия. Он должен иметь специально обученных специалистов а так же спец.оборудование и дополнительные материалы для контроля, и, к тому же, требует специальную обработку поверхности объекта для проведения контроля.

К минусам КК можно отнести его повышенную трудоемкость при отсутствии механизации и большую продолжительность этапов контроля (от 0.6 до 1.6 ч), а также затрудненность механизации и автоматизирование процесса контроля; уменьшение точности результатов контроля при минусовых температурах; индивидуальность оценки этого контроля - взаимосвязь точности результатов от профессионализма специалиста; а так же не долговечный срок годности дефектоскопических средств, не мало важно зависимость их качеств от способов хранения.

Пример реагентов для капиллярного контроля представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 - Пенетрант, Очиститель, Проявитель

### 2.1.3 Методы проведения радиографического контроля

Испытательная лаборатория «ПКТИ» осуществляет рентгенографические исследования особенностей сварных соединений различного предназначения.

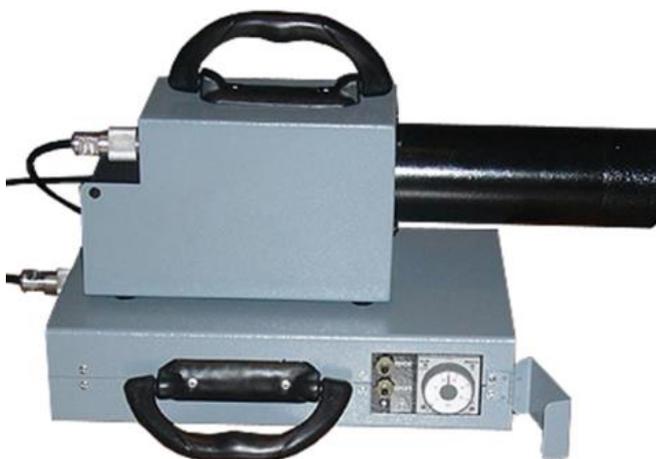
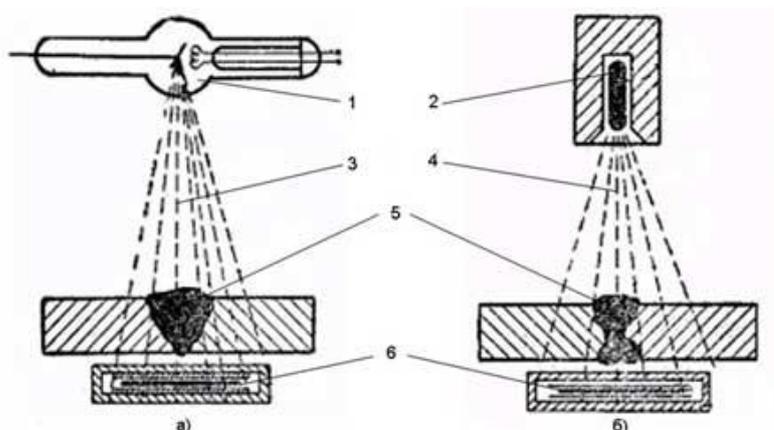


Рисунок 20 - Рентгеновский аппарат АРИНА 02

На рисунке 20 изображён рентгеновский аппарат АРИНА-02. Одним из основных систем неразрушающего исследования является радиографический средство испытания. Данное средство исследования абсолютно свободно используется для исследования трубопроводов, металлических изделий, оборудования, различных металлов во всех отраслях.

РГ исследование сварных стыковых соединений способствует показывать наличие в них дефекты в виде пор, непроваров и т.д. РГ позволяет давать оценку всем величинам выпуклости а так же вогнутости основного шва в закрытых для внешнего исследования мест. Например, с противоположной стороны сварного участка.

РГ основан на проникновении через металл луча и воздействовать на пленку, находящуюся с противоположной стороны сварного шва. Все найденные дефекты будут отображены на рентгеновской пленке (рисунок 21).



а – просвечивание сварного шва рентгеновскими лучами; б – просвечивание сварного шва гамма-лучами; 1 – рентгеновская трубка; 2 – ампула с радиоактивным веществом в защитном свинцовом кожухе; 3 – рентгеновские лучи; 4 – гамма-лучи; 5 – сварной шов; 6 – кассета с рентгеновской пленкой.

Рисунок 21 – Процесс рентгеновского снимка

После проведения радиографии пленки проявляются, после просушивания осуществляется их расшифровка с помощью негатоскопа с целью выявления и регистрации найденных дефектов.

При радиографическом исследовании используются специальные пленки, соответствующие условиям технического контроля на них. Тип

радиографической пленки определяется технической документацией на исследования или принятие сварных соединений. Тип радиоактивного источника, интенсивности на рентгеновской трубке, а также расстояние от источника излучения до изделия должны устанавливаться в соответствии от толщины просвечиваемого материала в соответствии с технической и нормативной документацией на исследование или приемку сварных соединений. В качестве поддерживавший экран при радиографическом исследовании используются металлические и флуоресцирующие экраны, класс которых устанавливается нормативной документацией на исследование или приемку сварных соединений.

Кроме этого к минусам РГ необходимо рассмотреть тот факт, что при исследованиях не выявляются включения а так же несплошности:

- с объёмом в направлении свечения удвоенной чувствительности исследования;
- если их изображения на снимках соответствуют с изображениями посторонних деталей, острых углов или разнотолщин;
- трещины а так же непровары, область раскрытия которых не соответствует с движения аппарата.

#### Технология радиографического исследования

Принцип процесса радиографического исследования сводится к следующему: объект исследования помещают между источником излучения и рентгеновской кассеты или многократными фосфорными, акриловыми поласами. Метод используют для исследования над ограниченной партией товаров.

В результате на принимающих материалах остается вид дефектной области, по которому считывают типы дефектов, положение их расположения. При печати исчезает часть данных о возможные дефекты, поэтому рентгенограммы рассматривают в виде негатива с негатоскопом. Дефектные места показываются белым цветом, остальной металл – черным.

При массовом производстве, в монтируемых или ремонтируемых трубах оборудование устанавливается внутри объекта. Данные о дефектах появляются на экране установки в реальном времени.

- Перед исследованием объект чистят от грязи, окалин, ржавчины.
- Для каждого места сварного соединения создается своя техническая карта.
- Оборудование экранируют, а область проведения исследования ограждают в соотношении с показателями дозиметров.

Во время процесса не допускается наличие посторонних. Сами специалисты удаляются от приборов на защитное расстояние.

## **2.2 Методы проведения исследования разрушающего контроля сварных соединений.**

### **2.2.1 Методы проведения твердости**

Исследование твердости – это одна из основных характеристик материалов. От ее значения зависят особенности сплавов, возможность эксплуатации того или иного металла в конструкции, важный тип обработки, а также близкие свойства: прочность, износостойкость и пр. Исследование испытывает и другие материалы: пластик, минералы, композиты. Для таких замеров используют твердомер универсальный.

Основные типы методов исследования. В зависимости от средства и продолжительности вдавливания индентора в металл все средства делятся на такие группы:

- Статические. Осуществляются такими способами: по Роквеллу, во Виккерсу, по Бринеллю, по Кнупу,
- Динамические. Осуществляются такими способами: по Шору, по Бауману, по Граве, по Морину, по Шварцу. В последние годы повышалась использование также косвенные средства. Анализ проводится с помощью высокоточных электронных вычислительных приборов, записывающих смежные параметры, а не саму твердость. Прибор для проведения – твердомер ручной ультразвуковой регистрирует скорость затухания

колебаний основания с индентором. Средство не имеет потребность к весу, размеру или геометрии анализируемого объекта. Единственное противопоказание - это крупнозернистая структура металлического изделия.

#### Статические методы

Принцип работы их в том, что материал получает нагрузку не сразу, а со временем проводится в регламентируемый промежуток времени (от 11 до 16 с для черных материалов, от 11 до 170 с для сплавов и цветных материалов).

Твердость по Бринеллю. Параметры материала зависят от параметров отпечатка, откладываемый металлическим шариком, вдавливаемым в поверхность. Анализ проводится на оборудование – прессе Бринелля и установленным правилам ГОСТ 9012-59. Твердость по Бринеллю устанавливается делением параметров приложенной нагрузки на место отпечатка и выражается в НВ. Расчеты по выражению на практике не проводятся, для этого созданы готовые ведомости. Фиксирование по Бринеллю (рисунок 22) делают для стали не более 460 НВ и цветных материалов не более 210 НВ с шероховатостью 1,15 – 3 Ra

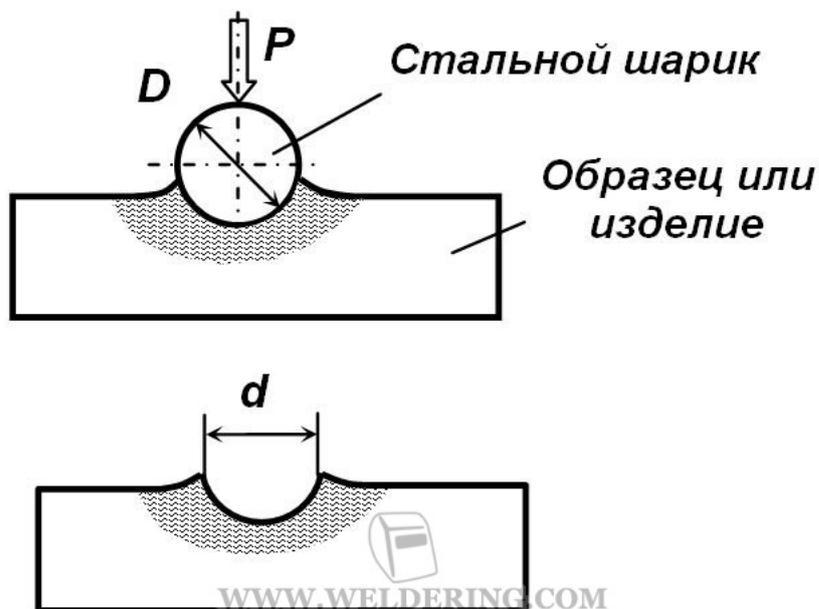


Рисунок 22 - Измерения по Бринеллю

Твердость по Роквеллу (рисунок 23). Фиксирование подходит для прочных закаленных материалов. В качестве индентора применяется алмазная

призма или стальной шар. Специализированная машина вдавливает индентор в материал с начальной силой в 11 кг, а затем с большим усилием – в 60 или 160 кг. Единица измерения высказываться в – HRC. Метод указан в ГОСТ 9013-59.

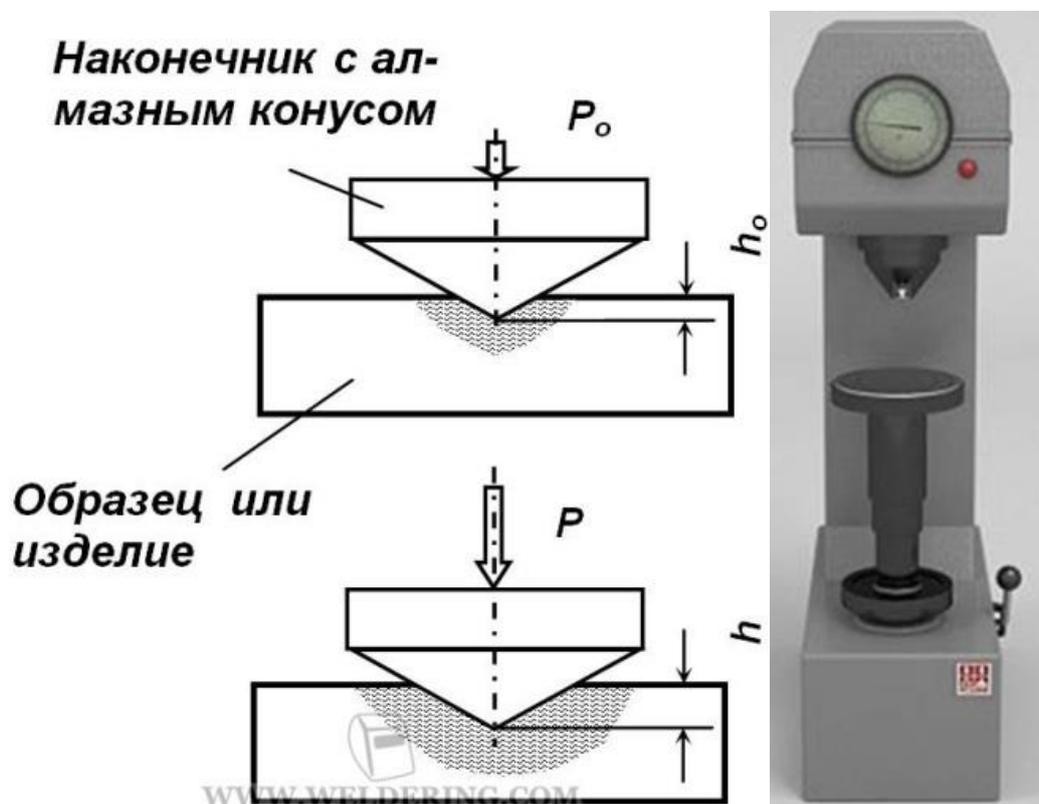


Рисунок 23 - Стационарные твердомеры ТКС 14-250

Твердость по Виккерсу (рисунок 24). Показатели для проведения анализ указан в ГОСТ 2999-75. Фиксирование по Виккерсу применяют для тонких материалов или верхних слоев твердых материалов с минимум шероховатостью 0,02 - 0,04 Ra. В качестве индентора используют алмазную четырехгранную пирамиду. Наконечник впесовывают в исследуемый материал в короткий промежуток времени, а затем высказываться среднее арифметическое диагонали изображения. По сводным ведомостям и полученной диагонали высказывают число Виккерса. Единица определения – HV. Одни из недостатков статических средств: это условие по твердости и малой основной толщине, шероховатости материал а так же низкой подвижности оборудования.

На рисунке 24 представлен Твердомер FV-300.

*Наконечник  
с алмазной  
пирамидой*

*Образец  
или изделие*

*Отпечаток  
алмазной  
пирамиды*

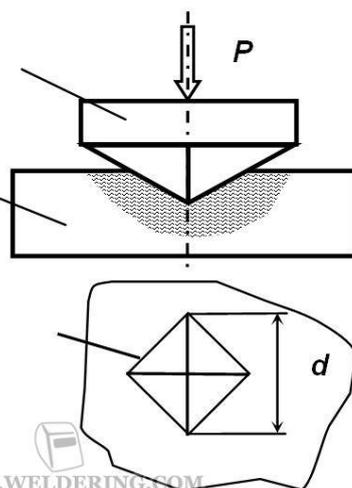


Рисунок 24 - Твердомер FV-300

**Динамические методы.** Осуществляются на измерении отскока и полета бойка. Особую известность имеет динамический твердомер. Он определяет соотношение скорости полета индентора при падении и рикошета. Результат от импульса анализируется преобразователем и подается на экран монитора. Не большой переносной твердомер имеет в основном производительность и подвижность в отличие от машины для классических средств измерения.

**Твердость по Шору.** Методика указана в ГОСТе 23273-78. Регистрируется скорость полета бойка с алмазным наконечником и уровень его отскока. Чем тверже материал, тем выше уровень отскакивает боек. На основании полученной информации показывается число твердости по Шору. Единица определения – HSD. Основная место использования этого метода – изготовление и использования прокатных валков.

### **2.2.2 Методы проведения механических испытаний сварных соединений**

Разрушающий контроль – один из видов исследования качества сварного шва по воздействию на материал, при помощи которого происходит разрушение контрольного образца. Испытания в большинстве случаев

проводят на образцах-свидетелях, изготовленных из материала, подобного как у изделия, и по такой же технологии.

Показателем проведения данного метода контроля является получение цифровых данных, характеризующих прочность, а также надежность сварного шва. Разрушающий метод контроля устанавливается государственными нормативами и подразделяется на несколько видов контроля.

Разрушающие исследования включают: механические испытания, металлографические испытания, коррозионные испытания.

Механический вид испытания. Контроль выполняется для определения механических свойств металла. Цель этого испытания проверка механических свойств конструкции на соответствие технических условий. Для проведения исследования из изделия отбирают контрольный образец либо вместе с этим изделием сваривают контрольную пластину.

В соответствии с ГОСТ 6996-66 проводят проверку механических испытаний сварных соединений на растяжение, ударный изгиб, стойкость против механического старения, измерение твердости металла различных участков сварного шва.

Механические испытания также разделяют на виды по характеру приложения нагрузки:

- статические нагрузки – свойственна малая скорость деформации образца под воздействием такой нагрузки (растяжение, сжатие) согласно ГОСТ 1497-84;

- динамические нагрузки – испытуемый предмет проходит проверку нагрузки, с большой скоростью (ударный изгиб) согласно ГОСТ 9454-78;

- на усталость – это способность металла сопротивляться многократно повторяющимся переменным нагрузкам, меняющимся как по направлению, так и по времени и величине (изгиб, а также растяжение, и кручение).

Статическое растяжение образцов. Это испытание проводится методом растяжения (разрыва) образцов и устанавливает механические свойства

(сопротивление разрыву, относительное удлинение и сужение после разрыва и др.) проверяемого материала.

Машины, на которых проводят испытания, оснащены автоматическими приборами записи диаграммы растяжения.

Образцы которые проверяются прямоугольного или круглого сечения (диаметр 3-10 мм).

Механические испытания проводят на образцах (рисунок 25, 26, 27, 28) стандартного типа. От вида испытаний подбирают форму и размеры образцов.

На растяжение используют стандартные цилиндрические (круглого сечения), а также плоские (прямоугольного сечения) образцы.

Проводятся на испытательном станке Inspekt (рисунок 29).

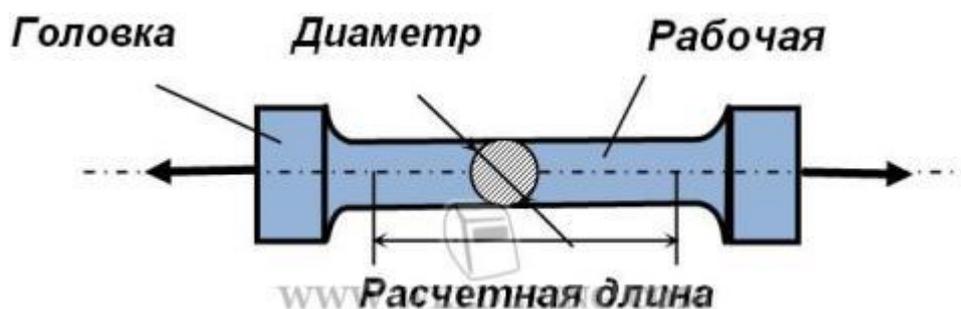


Рисунок 25 - Короткий круглый образец

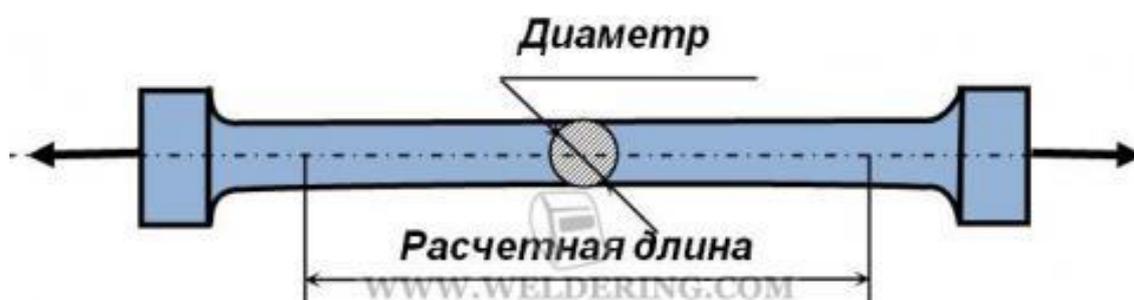


Рисунок 26 - Длинный круглый образец

Плоские образцы - толщина равна толщине листа, а ширина может быть 10, 15, 20 или 30 мм.

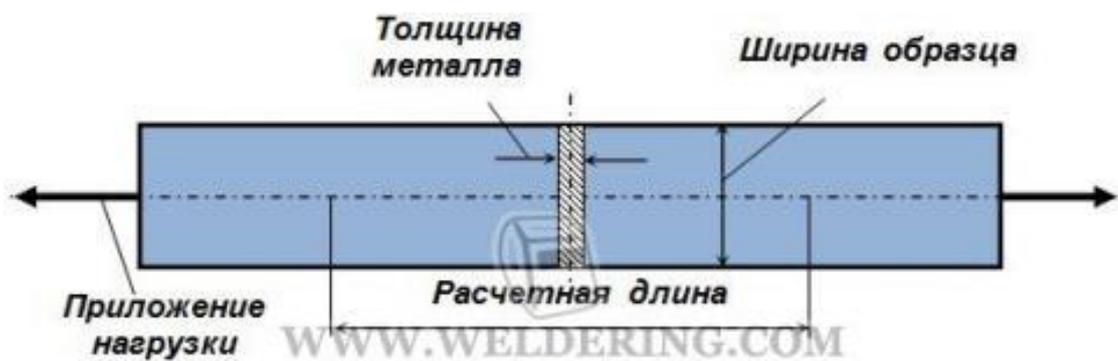


Рисунок 27 – Образец плоский без хвостовика для захватов разрыв.машины

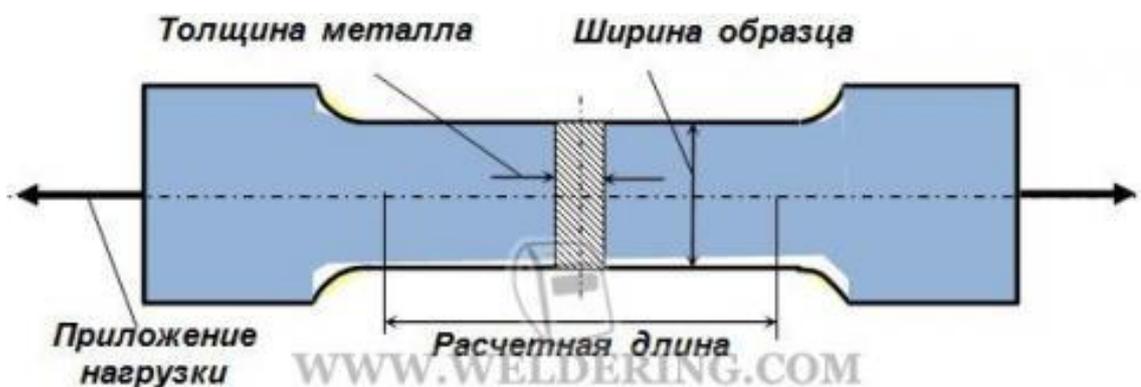


Рисунок 28 - Плоский образец с хвостовиком



Рисунок 29 - Универсальный испытательный станок Inspekt 200кN.

Ударный изгиб. Испытания проводят на прямоугольных или квадратных образцах с надрезом с одной стороны. В зависимости от предназначения контрольного исследования надрез может находиться на линии сплавления либо в зоне термического влияния, либо на оси сварного шва.

Основной целью испытания является определение ударной вязкости исследуемого материала при данной температуре в зоне соединения.

Исследование на ударная вязкость надрезанного образца выражается отношением затраченной работы, затраченной на разрушение данного образца к  $S$  поперечного сечения.

Способ испытания на ударный изгиб согласно ГОСТ 9454-79 при разных температурах

Структура излома исследуется после проведения испытаний. Главная задача определить наличие дефектов сварного соединения и степень кристалличности на данном изломе.

Динамическими испытаниями называют те испытания, где скорость деформирования выше в сравнении со статическими испытаниями.

При динамических испытаниях выявляется склонность стали к хрупкости. Метод основан на разрушении образца с надрезом ударом маятникового копра.

Стандарт предусматривает образцы с надрезами трех видов (рисунок 30, 31 и 32).

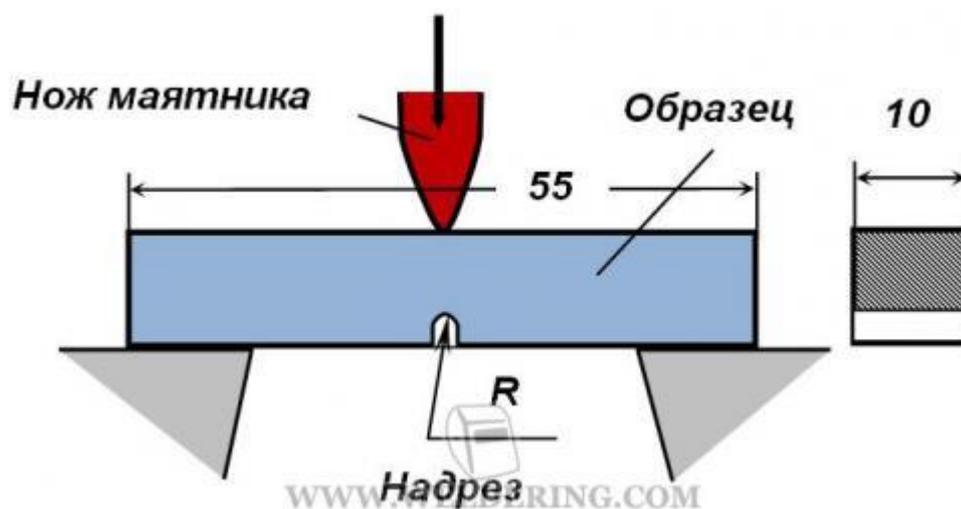


Рисунок 30 - Образец с надрезом U – образный с  $r = 1,0$  мм (метод KCU).

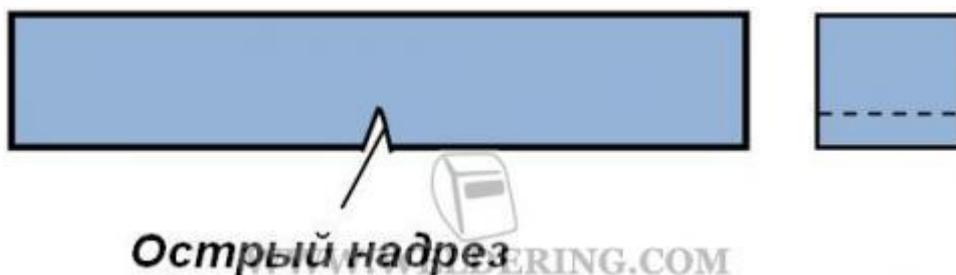


Рисунок 31 - Образец с надрезом V – образный с  $r = 0.26$  мм (метод KCV).

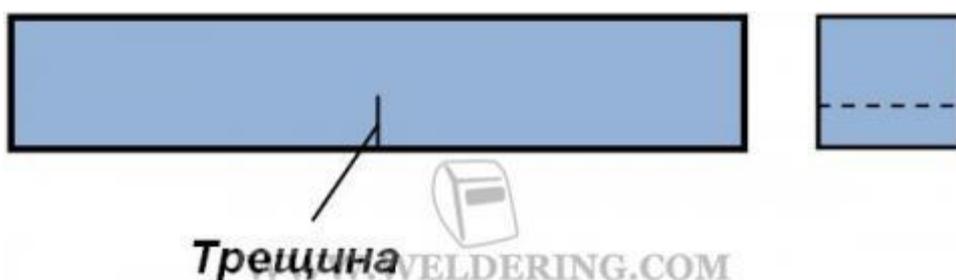


Рисунок 32 – Образец с надрезом I – образный с усталостной трещиной (метод KCT).

После проведения испытания по шкале копра определяют работу удара, потраченную на повреждение образца.



Рисунок 33- Копер маятниковый ТСМК - 300

Испытанию на загиб подлежат образцы из листового и фасонного проката. Применяют для листового металла ширину образца (b) равной двойной толщине ( $2 \cdot t$ ), но не менее 10 мм. В технических требованиях указывают радиус оправки.

Методы в соответствии с ГОСТ 7564-73, ГОСТ 6996-66, ГОСТ 14019-80.

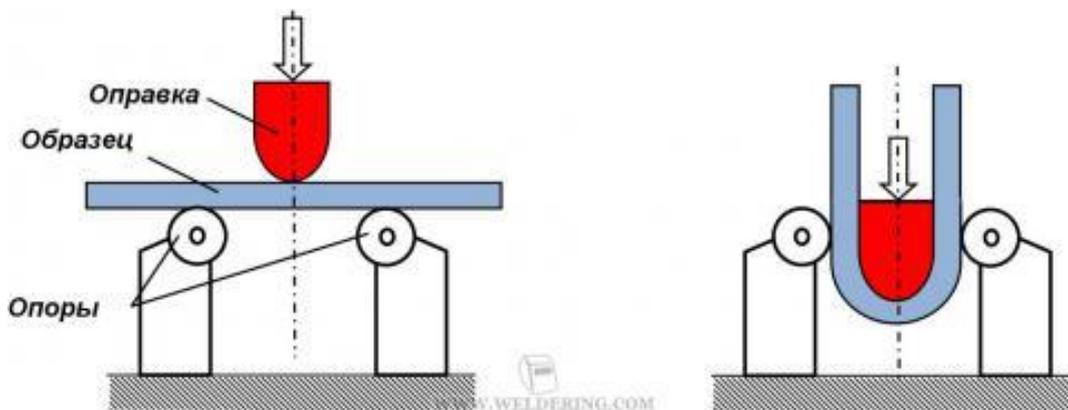


Рисунок 34 - Оправки.

Различают три типа изгиба: 1) загиб до заданного угла и загиб вокруг оправки до параллельности сторон а так же загиб вплотную к сторонам.

Образец считается прошедшим испытания отсутствие в образце трещин, расслоений или излома.



Рисунок 35- Разрывная машина УММ-100.

На рисунке 35 выше представлена разрывная машина, на которой проводились испытания.

### **2.2.3 Методы исследования металлографических исследований.**

Металлография и металлографические исследования.

Макроструктурный способ. Данный способ предназначен для первоначальной оценки качества сварных швов. Макроструктуру сварного соединения на поверхности изделия (образце и изломе сварного соединения) можно рассмотреть визуально или на оборудовании при двадцатикратном увеличении. Вырезанные шаблоны для образцов полируют и травят растворами, подбираемыми в зависимости от класса металла и задачи исследования.

Исследованием определяют:

- строение, величину и вид сварного шва;
- наличие внутренних дефектов сварного шва.

Макроструктуру металла также можно исследовать и по излому, внешний вид которого может рассказать о характере разрушения материала. Участок излома крупнозернистый с типичным блеском подтверждает хрупкость материала. В то время, как серый волокнистый излом, обладающий матовой поверхностью, говорит о хороших гибких свойствах металла.

Микроструктурный способ. Предусматривает изучение микроструктуры стали – строения стали, видимого увеличительным прибором. Исследование проводят на образцах, зачищенных до металлического блеска, поверхность которых обрабатывается специальными растворами.

Анализ проводится с помощью оптического увеличительного оборудования при увеличениях от 50 до 2000 крат. Микроструктурным способом устанавливаются:

- качество очищения образца;
- присутствие газовых пор, а также окисных пленок;

- присутствие микротрещин;
- количество загрязнения металла сварного соединения инородными включениями.

Инородные включения очевидно бывают разного вида, формы и выявляются на белом фоне образца чёрными пятнами. Микротрещины представляют собой узкие петляющие кривые. Газовые поры представляют собой тёмные пятнами.

Металлография — способ изучения и контроля стали.

Металлография изучает все принципы образования структуры материала, а также исследует макро-микроструктуру стали в структуре металла.

Цель металлографического исследования это определение связи между качественными а так же количественными особенностями структуры по эксплуатационным свми этой стали.

С использованием металлографического исследования контролируют степень изменения структуры металла, которые влияют на прочность материала приводя к ее снижению, и следовательно к снижению прочности самой конструкции и ее остаточного ресурса.

Стадии и особенности металлографического исследования.

Проведение исследований металлографических сталей, в каждом особом случае необходим персональный подход. Однако можно подчеркнуть несколько важных стадий, которые обязательно присутствуют в ходе проведения аналогичных исследований:

- изготовление шлифов;
- исследование структуры сечения;
- микро-макроанализ.

По ходу работы могут использовать самое разное оборудование, в их числе и специальные микроскопы, добиваясь увеличения от нескольких сотен до нескольких тысяч раз. Он определяет при этом величину, размеры и форму кристаллических зерен, находит изменение во внутреннем строении

металла под влиянием больших температур либо механического воздействия, микротрещины и иные дефекты.

В свою очередь металлография также входит в перечень исследований по определению и выявлению остаточного потенциала технологического оборудования нефтеперерабатывающих, а также нефтехимических и химических производств (Методика МООР-98).

Способы определения механических свойств, а также макроструктуры и микроструктуры сварных швов, проводят в соответствии с ГОСТ Р 57180-2016.

На рисунке 36 представлен металлографический микроскоп, для проведения исследований микроструктуры исследуемого материала.



Рисунок 36 - Металлографический микроскоп Альтами

### **3 Результаты проведенных исследований сварных соединений**

#### **3.1 Проведение исследований.**

Испытания. Для определения влияния диаметра сварочной проволоки на производительность и качество сварочного шва проведены 6 испытаний:

1) влияние силы тока на производительность:

- наложение валика на пластине 10мм с одинаковой силой тока (300А), см. таблица №8.

2) влияние скорости подачи на тепловложение:

- наложение валика на пластине 10мм с одинаковой скоростью подачи проволоки (6 м/мин), см. таблица №9.

3) влияние тепловложения на деформацию:

- сварное соединение без разделки в стык, толщиной 14мм с одинаковой подачей проволоки согласно таблицы №10.

4) сварка образцов с режимами по программе «Fronius»:

- сварное соединение С17 ГОСТ 14771-76, толщиной 10мм (208А и 280А), см. таблица №11.

5) сварка образцов с режимами по программе «Fronius»:

- сварное соединение С17 ГОСТ 14771-76, толщиной 14мм скоростью подачи проволоки (6.5 м/мин), см. таблица №12.

6) влияние положения сварки на производительность:

- сварное соединение С17 ГОСТ 14771-76, толщиной 14мм с режимами подобранными для этой толщины (113А и 143А), см. таблица №13.

Для исключения человеческого фактора и получения точных данных, сварка образцов №1, 2, 3, 4, 5 проводилась на автоматической тележке Fronius.

1. Влияние силы тока на производительность.

Сила тока: 300 А

Материал: 09Г2С, толщина детали: 10 мм.

Положение: нижнее, длина валика: 300мм. количество проходов: один.

Напряжение для проволоки:  $\varnothing 1.2$  мм–28В,  $\varnothing 1.6$  мм–26.6В. Вылет проволоки 17мм. На рисунках 37, 38, 39 и 40 изображено сварное соединение проволокой 1.2 мм. и 1.6 мм. соответственно.



Рисунок 37 - Проволока  $\varnothing 1.2$ мм.



Рисунок 38 - Проволока  $\varnothing 1.6$ мм

Глубина проплавления при сварке проволоками  $\varnothing 1.2$  и  $\varnothing 1.6$  при силе тока – 300А

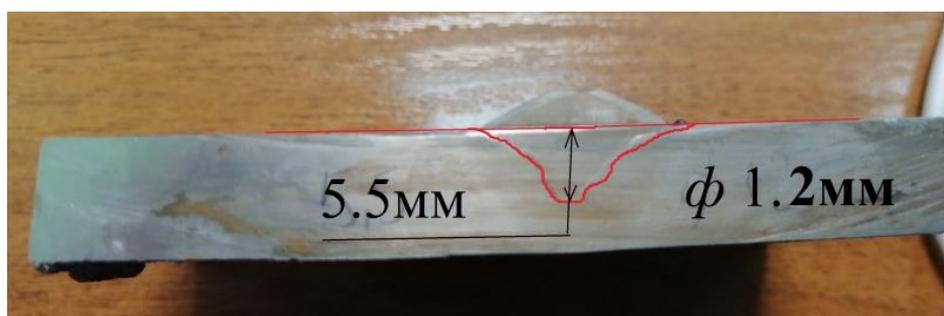


Рисунок 39. Проволока  $\varnothing 1.2$ мм



Рисунок 40. Проволока Ø1.6мм

Таблица 8 – Режимы сварки

Ø проволоки, мм.	Сила тока, А	Скорость подачи проволоки, м/мин.	Время, Сек.	Эффективная тепловая мощность электрической сварочной дуги, кДж.	Вес проволоки, гр.			Вес образца, гр.			Температура, °С		Разбрызгивание, грамм
					до	после	разница	до	после	разница	до	после	
1.2	300	10	56,2	<b>470,7</b>	7260	7182	<b>78</b>	3480	3556	<b>76</b>	25	<b>303</b>	<b>2</b>
1.6		5	56,9	<b>474,7</b>	17284	17211	<b>73</b>	3528	3595	<b>67</b>	28	<b>321</b>	<b>6</b>

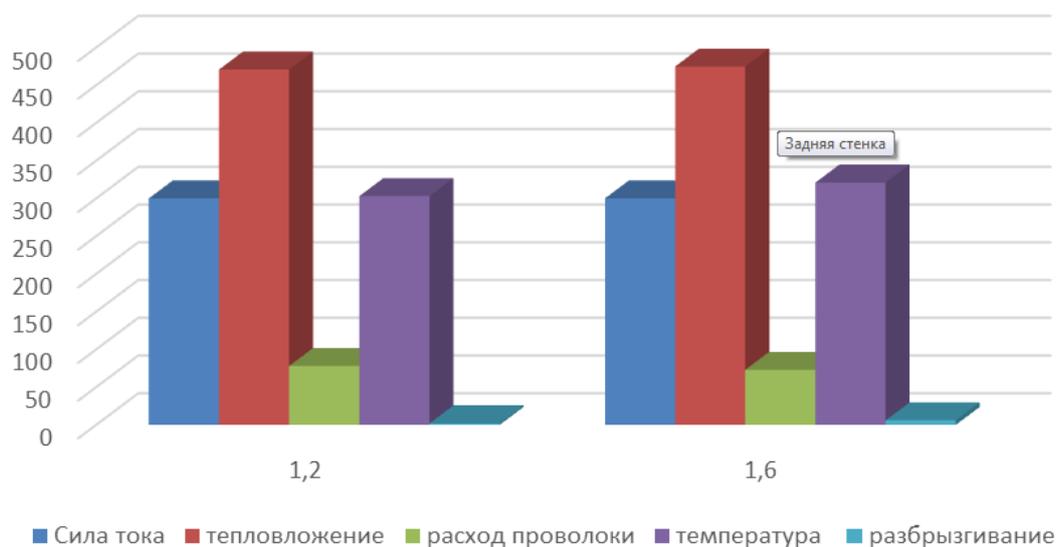


Рисунок 41- Диаграмма

Согласно данным таблицы 8 выявлено следующее:

При одинаковой силе тока объём наплавленного металла за один и тот же промежуток времени проволокой Ø1.2мм больше чем Ø1.6мм.

Разбрызгивание и температура нагрева детали проволокой Ø1.2 меньше. Глубина проплавления у Ø1.2 больше в 1.5 раза. При равном токе, проволока 1.2 мм нагревается сильнее, чем 1.6 мм, и имеет большее электрическое сопротивление. Эти факторы снижают напряжение и укорачивают дугу. Снижение напряжения уменьшает мощность дуги и выделение эффективной тепловой мощности электрической сварочной дуги. Наплавка пропорциональна скорости подачи и площади сечения проволоки  $10 \cdot 1.2^2 / (5 \cdot 1.6^2) = 1.126 \approx 78/73 = 1.068$ , различие объясняется большим разбрызгиванием при 1.6 мм. Большое разбрызгивание при 1.6 мм вероятно связано с каплями большего диаметра и появлением коротких замыканий дуги.

Выполнено компьютерное моделирование формирования сварочной ванны и шва при использовании проволоки диаметром 1.2 мм и 1.6 мм при режимах сварки образцов, рисунок 42, 43.

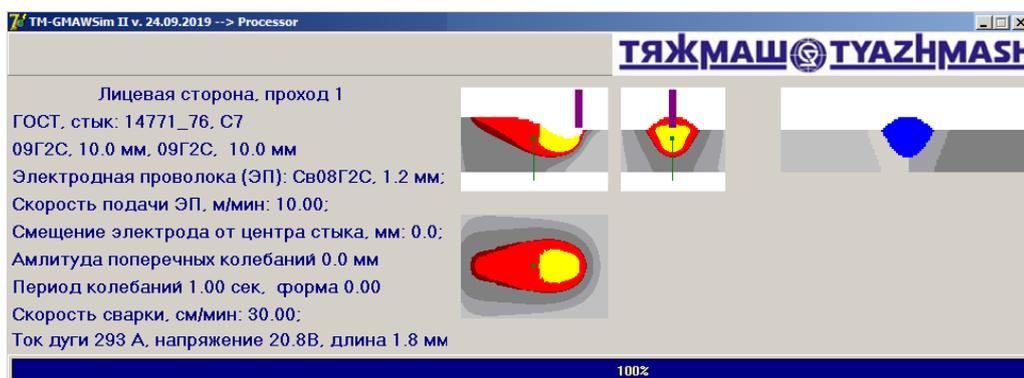


Рисунок 42 - Результат компьютерной имитации сварки проволокой диаметром 1.2 мм

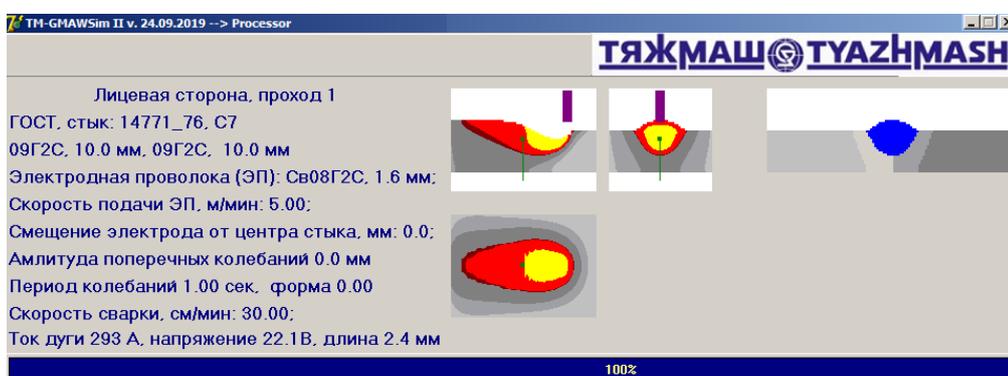


Рисунок 43 - Результат компьютерной имитации сварки проволокой диаметром 1.6мм

Характеристики плавления проволок приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Физические характеристики плавления электродной проволоки различного диаметра

Параметр процесса	Диаметр электродной проволоки, мм	
	1.2 мм	1.6 мм
Температура подогрева вылета, °С	515	276
Температура капель электродного металла, °С	2232	2259
Электрическое сопротивление вылета, Ом	0.0052	0.0025
Давление потока капель на поверхности сварочной ванны, Н/см <sup>2</sup>	0.022	0.0054
Электродинамическое давление дуги, Н/см <sup>2</sup>	0.14	0.13
Мощность тепловыделения в вылете, Вт	446	213
Мощность, переносимая каплями электродного металла, Вт	2184	1840
Мощность тепловыделения в катодном пятне, Вт	2136	2140

Моделирование показало, что вылет проволоки диаметром 1.2 мм нагревается до температуры, вдвое больше, чем диаметром 1.6 мм. Давление капель на поверхность сварочной ванны больше в 4 раза, мощность, переносимая каплями больше на 344 Вт. Электрическое сопротивление проволоки диаметром 1.2 мм в 2 раза больше, соответственно напряжение и длина дуги меньше. Так как давление и тепловая мощность капель электрода диаметром 1.2 мм больше, формируется более глубокий кратер под дугой, и её более короткая дуга смещается в глубину сварочной ванны. Это заметно увеличивает проплавление листа.

2. Влияние скорости подачи проволоки на выделение тепловой электрической энергии:

- скорость подачи: 6м/мин.
- толщина детали: 10 мм.
- материал: 09Г2С.
- положение: нижнее.
- длина валика: 300мм.
- количество проходов: Один.
- напряжение для проволоки: Ø1.2 мм–20.2В, Ø1.6 мм–29.5В.
- вылет проволоки 17мм.



Рисунок 44 - Проволока  $\text{Ø}1.2\text{мм}$ .



Рисунок 45 - Проволока  $\text{Ø}1.6\text{мм}$

Таблица 10 – Режимы сварки

Ø проволоки, мм.	Сила тока, А	Скорость подачи проволоки, м/мин.	Время, Сек.	Эффективная тепловая мощность электрической сварочной дуги, кВт	Вес проволоки, гр.			Вес образца, гр.			Температура, °С		Разбрызгивание, грамм
					до	после	разница	до	после	разница	до	после	
1.2	198	6	56,7	217,6	7182	7134	48	3456	3500	44	26	203	4
1.6	350			635,6	17211	17124	87	3528	3595	83	26	358	5

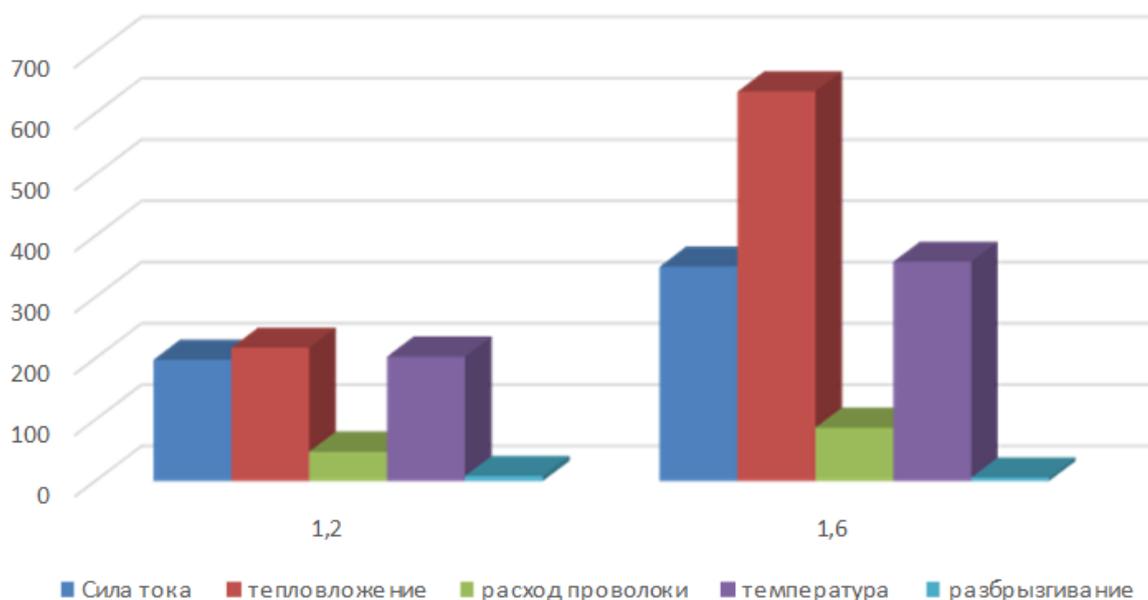


Рисунок 46 - Диаграмма к таблице 10

Согласно данным таблицы 10 выявлено следующее:

При одинаковой скорости подачи проволоки объём наплавленного металла проволокой Ø1.6мм больше чем Ø1.2мм. При этом разбрызгивание и температура нагрева детали выше, что приведет к деформации изделия (см. пункт 3, рисунок 47, 48).

3. Влияние эффективной тепловой мощности электрической сварочной дуги на деформацию (рисунок 47 и 48).

- скорость подачи: 6м/мин;
- толщина детали: 10 мм;
- материал: 09Г2С;
- положение: нижнее;

- длина валика: 300мм;
- количество проходов: один.

## Сварочная проволока $\phi 1,2$

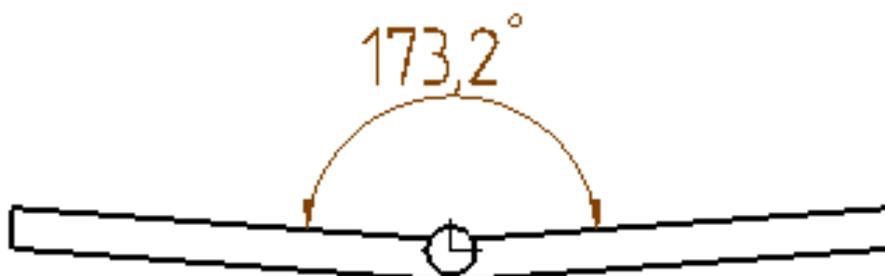


Рисунок 47 - Проволока  $\phi 1.2$ мм.

## Сварочная проволока $\phi 1.6$

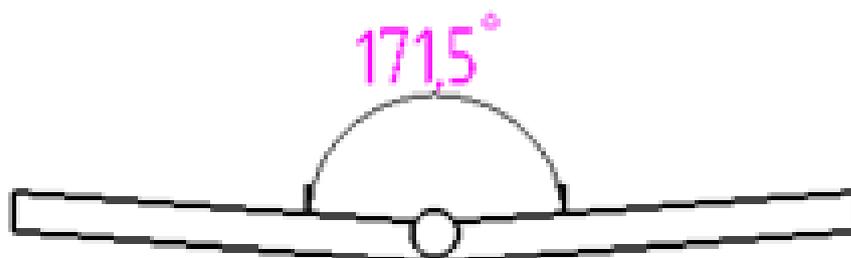


Рисунок 48 - Проволока  $\phi 1.6$ мм

При одинаковой скорости подачи проволоки, объём наплавленного металла проволокой  $\phi 1.6$ мм больше чем  $\phi 1.2$ мм. При этом температура нагрева детали выше в два раза, а выделяемая эффективная тепловая мощность электрической сварочной дуги в 3 раза, что приведет к деформации сварного соединения (см рисунок 40, 41).

Отклонение от  $180^\circ$ :  $8.5/6.8=1.29$  определяется формой сечения проплавления (при несквозном проплавлении соотношением ширины к

проплавлению и к толщине листа). Так как глубина проплавления пропорциональна квадрату тока, а ширина корню квадратному из тока, то деформация пропорциональна квадратному корню из соотношения токов  $(350/198)^{0.5}=1.32$ , что соответствует углу отклонения от плоскости.

#### 4. Сварка образцов с режимами по программе «Fronius».

Сварное соединение: С17 ГОСТ 14771-76

Толщина: 10мм

Положение: Нижнее.

Длина валика: 300мм.

Количество проходов: Три.

Цель: Определить влияние предоставленных режимов сварки для заявленной толщины на производительность сварки проволоками Ø1.2мм и Ø 1.6мм.

Таблица 11 – Режимы сварки

Ø проволоки, мм.	Кол-во проходов	Сила тока, А	Скорость подачи проволоки, м/мин.	Время, Сек.	Эффективная тепловая мощность электрической сварочной дуги, кДж.	Вес проволоки, гр.			Вес образца, гр.			Температура, °С		Разбрызгивание, грамм
						до	после	разница	до	после	разница	до	после	
1,2	1	150	4	187,3	652,1	7134	6987	147	6865	7008	143	26	354	4
	2	208	6,4											
	3	208	6,4											
1,6	1	110	1,7	168,4	821,1	1690 2	16755	147	6698	6833	135	26	467	12
	2	280	4,4											
	3	280	4,4											

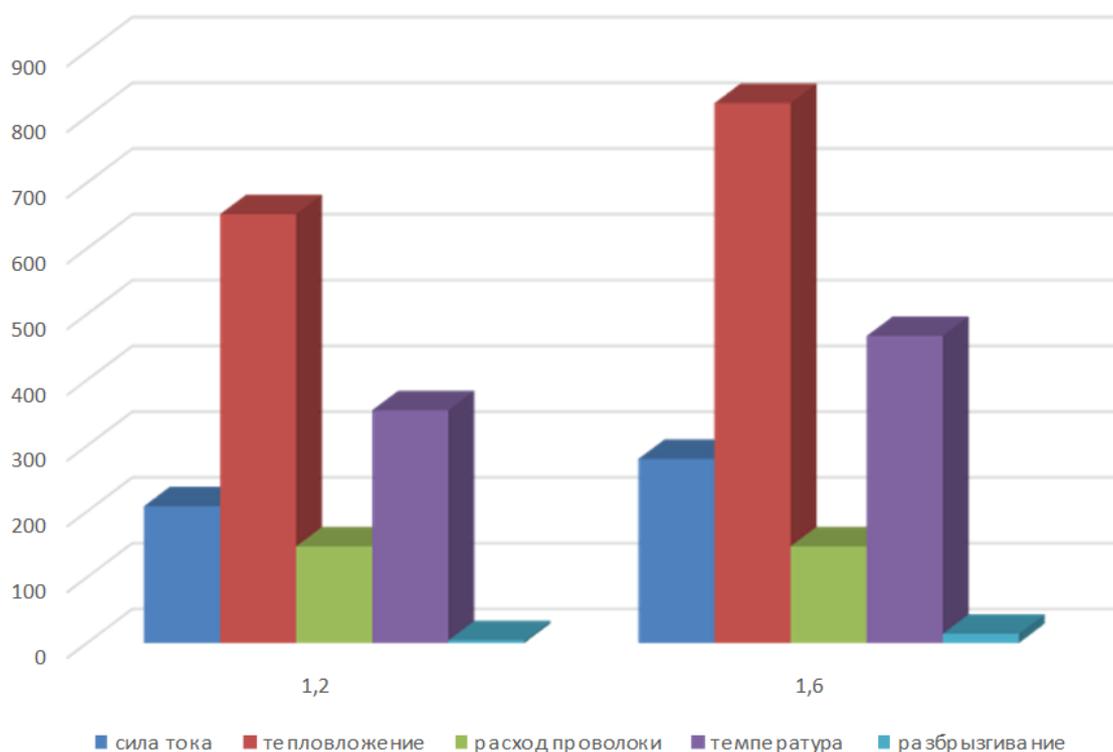


Рисунок 49- Диаграмма к таблице 11

Согласно данным таблицы 11 выявлено следующее:

Режимы сварки выбраны из аттестованных сварочных технологий с применением «интеллектуальной» программы сварочного аппарата Fronius. При оптимальных режимах сварки объём наплавленного металла проволокой Ø1.6мм (0,80гр за 1сек.) больше чем Ø1.2мм. (0,76гр за 1сек.) При этом разбрызгивание и температура нагрева детали выше, что приведет к большим деформациям изделия.

5. Сварка образцов с режимами по программе «Fronius».

Сварное соединение: С17 ГОСТ 14771-76

Толщина: 14мм

Скорость подачи: 6 м/мин.

Положение: Нижнее.

Длина валика: 300мм.

Количество проходов: Три.

Цель: Влияние одинаковой скорости подачи на производительность сварки проволоками Ø1.2мм и Ø 1.6мм.

Таблица 12- Режимы сварки

Ø проволоки, мм.	Сила тока, А	Кол-во проходов	Скорость подачи проволоки, м/мин.	Время, Сек.	Эффективная тепловая мощность электрической сварочной дуги, кДж.	Вес проволоки, гр.			Вес образца, гр.			Температура, °С		Разбрызгивание, грамм
						до	после	разница	до	после	разница	до	после	
1, 2	150	1	4	281, 5	960	6987	6728	259	9461	9707	246	26	364	13
	210	2	6,5											
	210	3	6,5											
1, 6	220	1	3	222, 5	1632	16755	16500	255	9413	9645	232	26	498	23
	368	2	6,5											
	368	3	6,5											

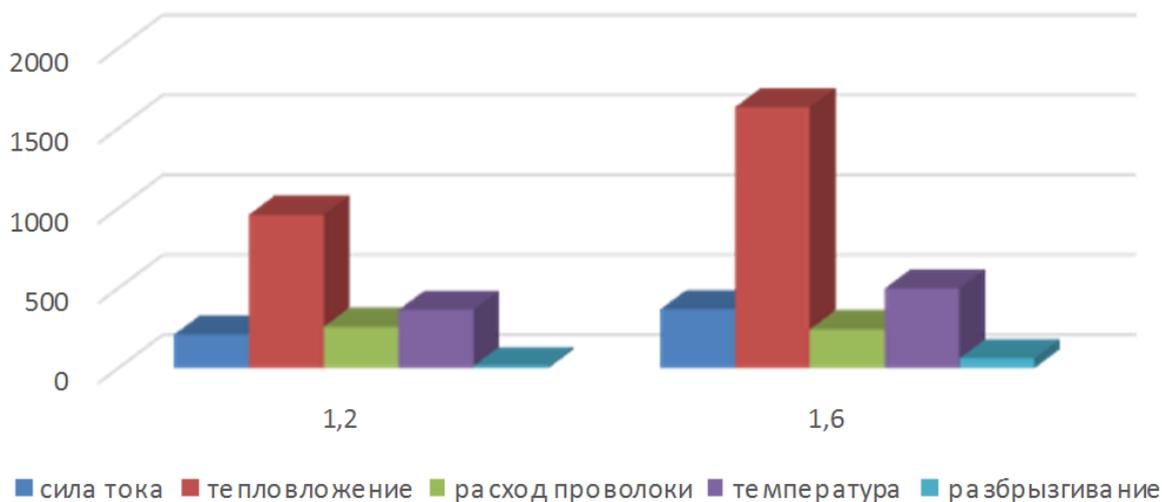


Рисунок 50 - Диаграмма к таблице 12

Согласно данным таблицы 12 выявлено следующее:

При одинаковой скорости подачи проволоки объём наплавленного металла проволокой Ø1.6мм больше чем Ø1.2мм. При этом разбрызгивание и температура нагрева детали выше у Ø1.6мм, что приведет к деформации изделия.

6. Влияние положения сварки на производительность.

Положение: Вертикальное.

Сварное соединение: С17 ГОСТ 14771-76

Толщина: 14мм

Длина валика: 300мм.

Количество проходов: Три.

Цель: Влияние режимов сварки подобранных для этой толщины на производительность сварки проволоками Ø1.2мм и Ø 1.6мм.

Таблица 13 – Режимы сварки

Ø проволоки, мм.	Сила тока, А	Скорость подачи проволоки, м/мин.	Время, Сек.	Эффективная тепловая мощность электрической сварочной дуги кЛж.	Вес проволоки, гр.			Вес образца, гр.			Температура, °С		Разбрызгивание, ГРАММ.
					до	после	разница	до	после	разница	до	после	
1.2	105	3.0	602	1028	6727	6458	269	9401	9668	267	29	276	2
	113	3.2											
	113	3.3											
1.6	124	1,6	579,3	1390	16461	16158	303	9468	9768	300	29	320	3
	126	1,7											
	143	1,9											

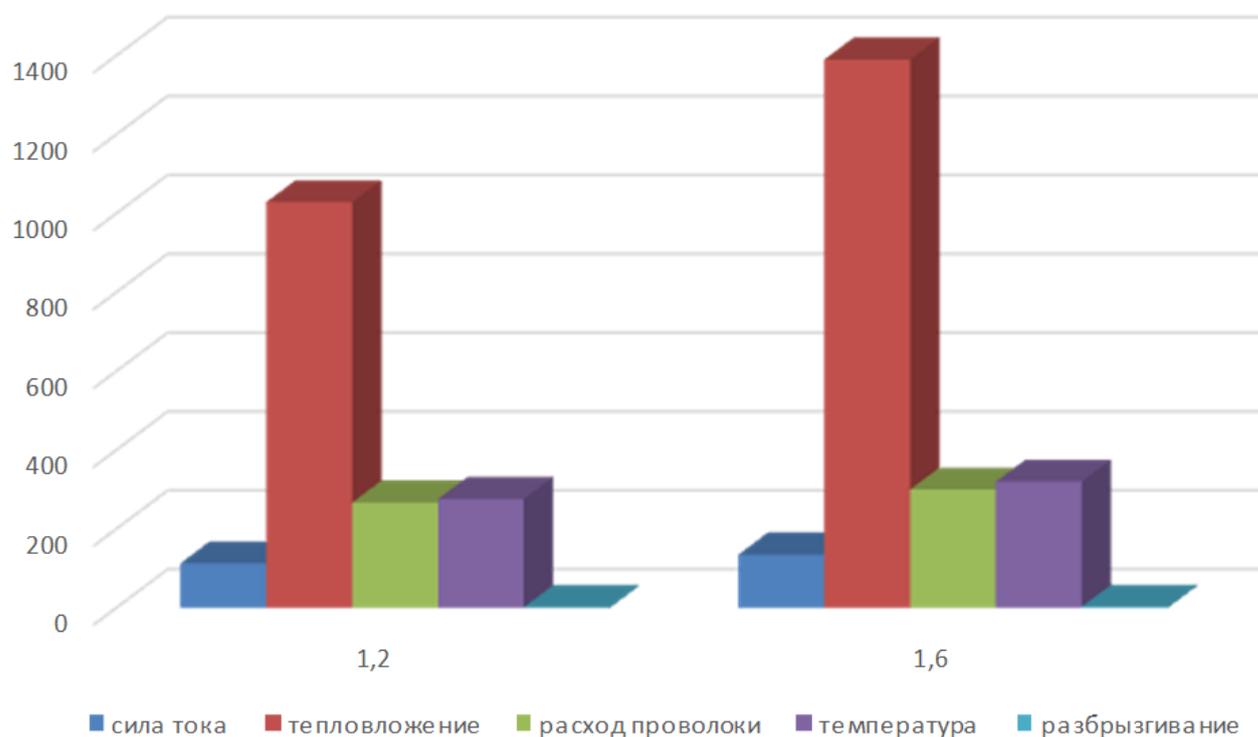


Рисунок 51 - Диаграмма к таблице 13

Согласно данным таблицы 12 выявлено следующее:

При выбранных аттестованных режимах сварки, объём наплавленного металла проволокой Ø1.6мм (0,51гр за 1сек.) больше чем Ø1.2мм (0.44гр за 1сек.). При этом разбрызгивание и температура нагрева детали выше, что

приведет к деформации изделия. Сварка в вертикальном положении проволокой Ø1.6мм варится труднее, при этом необходимо увеличивать силу тока и скорость движения горелки, в связи с этим возможны прожоги, наплывы и т.д., что приводит к некачественному сварному шву.

Главной задачей всей работы является повышение качества и производительность с последующим снижением себестоимости.

В производственных условиях на предприятии провели сварку сварных соединений с фиксацией всех параметров сварки и визуальном контроле деталей.

По полученным данным можем сделать предварительный вывод, что проволока Ø1.6мм требует больше силы тока, что приводит к большему нагреву детали, следовательно приведет к деформации изделия.

Так же для более углублённого изучения данного вопроса было принято решение провести неразрушающий и разрушающий контроль сваренных соединений заваренных между собой проволоками Ø1,2мм и Ø1,6мм.

### **3.2 Результаты проведения исследования неразрушающего контроля сварных соединений**

Неразрушающий контроль и его результаты представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты неразрушающего контроля

Виды испытаний	Сварное соединение проволокой Ø1.2мм	Сварное соединение проволокой Ø1.6мм
Визуально и измерительный контроль	дефектов - не обнаружено	дефектов - не обнаружено
Капиллярный метод контроля	дефектов - не обнаружено	дефектов - не обнаружено
Радиографический контроль	дефектов - не обнаружено	дефектов - не обнаружено

### 3.3 Результаты проведения исследования разрушающего контроля сварных соединений

Разрушающий контроль. Механические испытания, и их результаты показаны в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты разрушающего контроля.

Виды испытаний	Сварное соединение проволокой Ø1.2мм	Сварное соединение проволокой Ø1.6мм	Мех свойства основного металла по ГОСТ 19281-2014
Предел текучести, МПа	415,0; 415,0 сред. 415,0	415,0; 415,0 сред. 415,0	Не менее 325
Временное сопротивление, Мпа	570; 580 сред. 575	570; 580 сред. 575	Не менее 450
Угол загиба, градус	80; 80 сред. 80	80; 80 сред. 80	---
Относительное удлинение, %	25,0; 27,0 сред. 26,0	29,0; 30,0 сред. 29,5	Не менее 21
Относительное сужение, %	68,0; 65,0 сред. 66,5	65,0; 69,0 сред. 67,0	---
Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	124; 127; 129 сред. 127	157; 160; 165 сред. 161	Не менее 34
Твердость по Виккерсу, HV10	См. рисунок 52	См. рисунок 53	---
Металлографические исследования	дефектов - не обнаружено (См. рисунок 54)	дефектов - не обнаружено (См. рисунок 55)	---

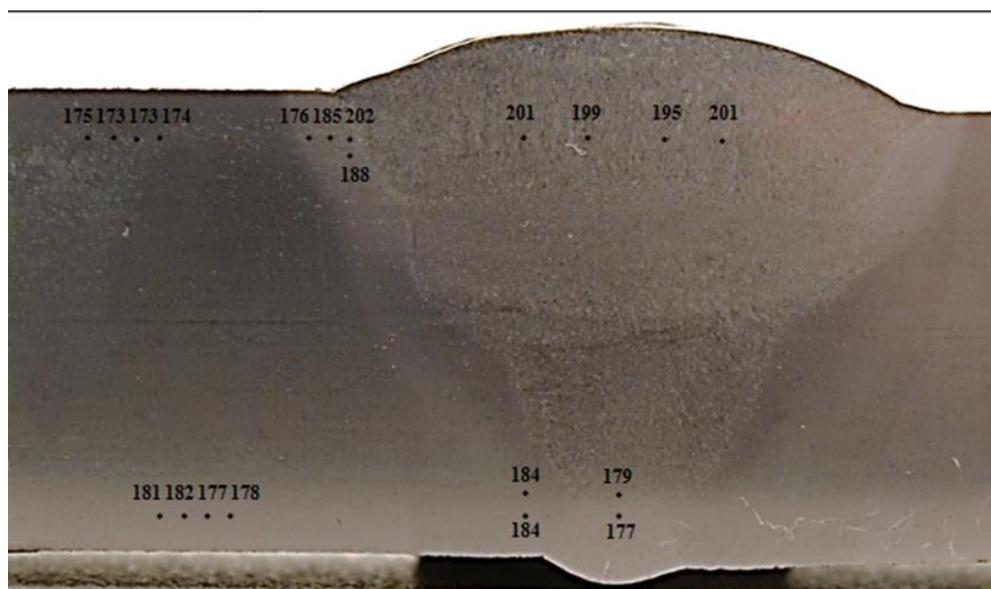


Рисунок 52 - Фото сварного шва с измерениями твердости заваренной проволокой Ø1.2 мм



Рисунок 53 - Фото сварного шва с измерениями твердости заваренной проволокой  $\varnothing 1.6$  мм

Металлографические исследования:

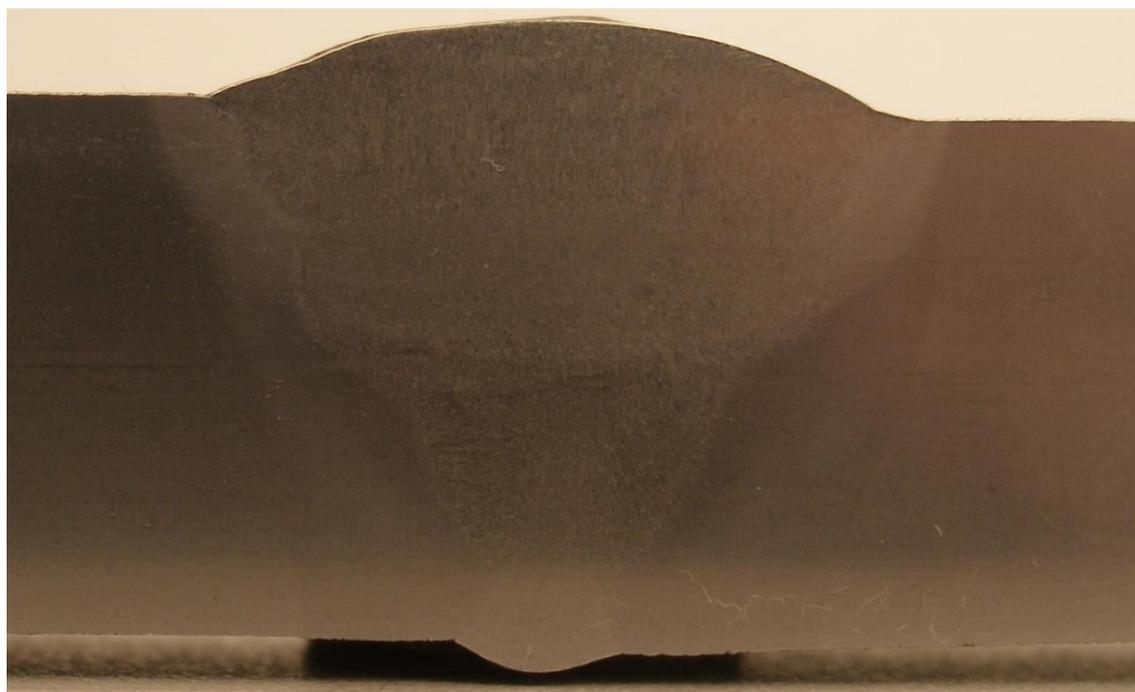


Рисунок 54 - Фото сварного соединения при металлографических исследованиях, заваренный проволокой  $\varnothing 1.2$  мм

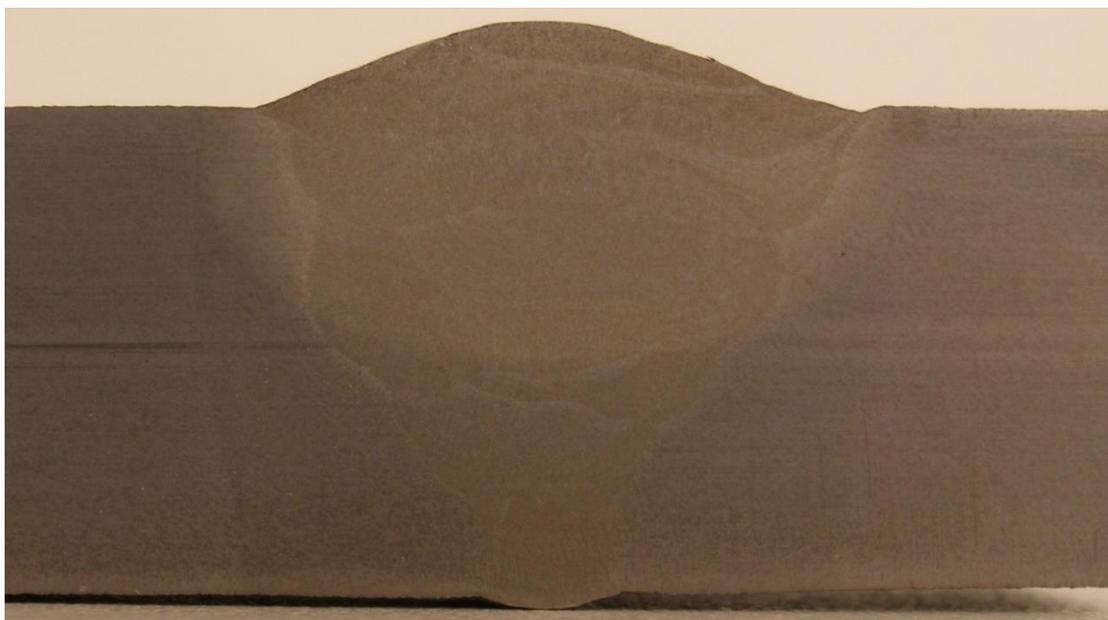


Рисунок 55 - Фото сварного соединения при металлографических исследованиях, заваренный проволокой  $\text{Ø}1.6\text{мм}$

В результате исследования внутренних дефектов как: поры, трещины, непровары, шлаковые включения - не обнаружены.

Термический цикл сварки и структура сварного соединения.

Металлографические испытания микроструктуры поперечного сечения КСС (рисунок 56) с целью определения длины участков околошовной зоны:

- наплавленного металла
- неполного расплавления,
- перегрева,
- нормализации,
- неполной перекристаллизации,
- рекристаллизации, синеломкости.



Рисунок 56 - Термический цикл сварки и структура сварного соединения.

Таблица 16 – Режимы сварки

Диаметр проволоки	Ширина металла шва (наплавленного металла)	Участок неполного расплавления	Участок перегрева	Участок нормализации	Участок неполной перекристаллизации	Участок рекристаллизации	Участок синеломкости
1.2	9.0	0.1	0.7	0.5	0.4	0.3	0.7
1.6	12.0	0.1	0.8	0.7	0.4	0.3	0.7

### 3.4 Экономическое обоснование

Экономическая часть. Сравнительная таблица по затратам для сварочного процесса проволоками диаметром 1.2мм и 1.6мм на 1 метр сварного шва.

Исходные данные:

- сварочная проволока: Св-08Г2С ГОСТ 2246 Ø1.2мм и Ø1.6мм;
- защитный газ: Ar82%+ CO<sub>2</sub>18%;

- способ сварки: механизированная аргонодуговая сварка;
- оборудование: сварочный аппарат марки «Fronius TPS 500i»;
- размер пластины - 150x300мм;
- толщина пластины - 14мм;
- основной материал - Сталь 09Г2С.

Таблица 17 – Режимы сварки

Наименование	Проволока Ø1.2мм	Проволока Ø1.6мм
Наименование оборудования	Fronius TPS 500i PULSE	Fronius TPS 600i PULSE
Стоимость оборудования	1 125 000руб	1 860 000руб
Зачистка околосшовной зоны	(0,085 н/ч) 9.69руб	(0,085 н/ч) 9.69руб
Правка изделия	(0,13 н/ч) 13.26руб	(0,13 н/ч) 13.26руб
Стоимость сварочной проволоки	100р за кг.	100р за кг.
Расход проволоки (таблица №5 за 1метр)	(863.3гр.) 86.3руб	(850гр.) 85 руб
Разбрызгивание и выгорание (таблица №5 за 1метр)	43.3гр. 0.43 руб	76гр. 0.76руб
Потребление эл. энергии	(4.4 кВт) 19 руб	(11.7 кВт) 50.5 руб
Расход газа	(Время сварки 15.6 минут; 14-16л/мин.) 31.2 руб	(Время сварки 12.3 минут; 16-18л/мин.) 27.06 руб
Нормы по сварке (сварщик 5 р)	(0,4н/ч) 46руб.	(0,333 н/ч) 37.9 руб.
Итого:	205.88 + 1 125 000 = 1 125 205.88	224.17 + 1 860 000 = 1 860 224.17
	Итого: 18.29рублей, разница с 1 метра	

Расчеты к таблице 17

Расход газа:

- 40л.\*150атм/15литров = 400мин, цена баллона 800руб,

$800/400=2\text{руб/мин}$ ,  $2 \times 15,6=31,2\text{руб}$

- 40л.\*150атм/17литров = 352,9мин, цена баллона 800руб,

$800/352,9=2,2\text{руб/мин}$ ,  $2,2 \times 12,3=27,06\text{руб}$

Нормы з.п. сварщика и слесаря:

-  $116.63 \text{руб за час} / 60 = 1,9 \text{р. за 1 мин}$ ,  $60 / 100 * 0,4 = 24 \text{мин}$ ,  $1,9 * 24 \text{мин} = 46 \text{руб}$  Нормы з.п. правильщика

-  $105.07 \text{руб за час} / 60 = 1,7 \text{р. за 1 мин}$ ,  $60 / 100 * 0,13 = 7,8 \text{мин}$ ,  $1,7 * 7,8 \text{мин} = 13,26 \text{руб}$

Потребление эл. энергии

Проволока  $\varnothing 1.2 \text{мм}$ , Fronius TPS 500i PULSE -  $210 \text{А} * 21,3 \text{В} / 1 \text{ПВ} = 4473$

Ватт = 4,4 кВт

Проволока  $\varnothing 1.6 \text{мм}$ , Fronius TPS 600i PULSE -  $368 \text{А} * 31,9 \text{В} / 1 \text{ПВ} = 11739$

Ватт = 11,7 кВт.

## Заклучение

Главной задачей является повышение качества и производительности с последующим снижением себестоимости продукции.

Механические испытания показали, что механические свойства сварных соединений заваренных проволоками Ø1.2мм и Ø1.6мм не ниже установленных ГОСТ 19281-2014.

Для дуговых процессов сварки определяющим, является плотность сварочного тока  $J_{св}(A/мм^2)$ , которая есть ток, протекающий через единицу сечения  $J_{св}=I_{св}/S_{эл}$ . Именно плотность тока определяет скорость оплавления сварочной проволоки, глубину проплавления основного металла, производительность сварки. Для разных дуговых способов сварки эта характеристика имеет совершенно разные значения и диапазоны. Для механизированной сварки в среде защитных газов этот показатель равен  $J_{св}=150-250A/мм^2$ .

В таблице №18 представлены оптимальные режимы сварки для механизированной сварки проволокой сплошного сечения в среде защитного газа.

Таблица 18 – Рекомендованные режимы сварки

Ø эл, мм.	S эл, мм <sup>2</sup>	J <sub>min</sub> , A/мм <sup>2</sup>	J <sub>max</sub> , A/мм <sup>2</sup>	I <sub>min</sub> , A	I <sub>max</sub> , A
1.2	1.13	150	250	170	282
1.6	2.01	150	250	300	502

В таблице 19 и приложение А приведены параметры по продолжительности сварки на оборудование фирмы Fronius марки TPS 500i PULSE. (данные из руководства по эксплуатации оборудования).

Таблица 19 – Продолжительность включения

Сварочный ток при 10мин/40°C(104°F)	40%ПВ	500А
	60%ПВ	450А
	100%ПВ	360А

Согласно таблицы 19 №1  $d_{эл}=1.6мм$  при максимальном токе в 450А будет обеспечивать режим работы TPS 500i PULSE с существенно большим износом и сократит ресурс его бесперебойной работы.

При снижении  $I_{св}$  до 300А будет обеспечена минимальная плотность тока. Это означает, что сварка будет «холодная» без нормальных характеристик по производительности и глубине проплавления.

Именно поэтому большинство зарубежных компаний применяют в сварочном производстве проволоку  $d_{эл}=1.2\text{мм}$ , поскольку удастся максимально эффективно использовать источники сварочного тока 400-500А, минимизируя энергозатраты (см таблицу 7) на килограмм наплавленного металла.

Стоит обратить внимание, что при сварке проволокой  $\varnothing 1.6\text{мм}$  в сравнение с проволокой  $\varnothing 1.2\text{мм}$ : увеличивается сила тока, что ведет к большему тепловложению, большим сварочным деформациям, большему проценту разбрызгивания, а следовательно, к дополнительным временным и материальным затратам на правку изделия и зачистку околошовной зоны.

## Список используемой литературы

1. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие / Н.П. Алешин. - Москва: Машиностроение, 2006. - 368 с.
2. Бойцова В.В., Козловский А.Э. Механические свойства материалов. Методы испытаний - г. Иваново. 2007. 30-36с.
3. Введение в основы сварки: учебное пособие / В.И. Васильев, Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов; Юргинский технологический институт – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 338 с.
4. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки: учеб. для проф. учеб. заведений. - М.: Высш. Шк. Изд. центр «Академия», 1997.
5. Гедовиус Н.А., Шмаков В.М. Сварка новых материалов в среде защитных газов. – Куйбышев, 1969. –112с.
6. Герасимов В.М. Виды и методы разрушающего контроля качества сварных соединений. УДК 620.171.1. ФГБОУ ВО РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, 2019.
7. ГОСТ 14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Москва: Изд-во стандартов, 1976.
8. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытания на растяжение. – Москва: Изд-во ФГУП Стандартиформ, 16.07.84.
9. ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. - Постановление Государственного комитета СССР по стандартам, 1.07.81.
10. ГОСТ 18353. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. - Постановление Государственного комитета СССР по стандартам, 01.07.80.
11. ГОСТ 2246-70. Проволока стальная сварочная. - Минчермет СССР, 01.01.1973

12. ГОСТ 23273-78. Металлы и сплавы. Измерение твердости методом упругого отскока бойка (по Шору). - ОКСТУ 0909, 01.01.1980.
13. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. - ОКСТУ 1909, 01.01.1976.
14. ГОСТ Р 57180-2016. Соединения сварные. Методы определения механических свойств, макроструктуры и микроструктуры. - 01.06.2017.
15. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. - М. Госстандарт – 45с.
16. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод. - Дата актуализации 01.01.2021.
17. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. - 0.1.01.1960.
18. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. - ОКСТУ 1909, 01.01.1969.
19. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. - ОКСТУ 1909, 01.01.1979.
20. Кушнер В.С. Материаловедение: учебник. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2008. – С. 138 – 152.
21. Картонова Л.В., Кечин В.А. Основы материаловедения: учебное пособие. – Владимир: Издательство ВлГУ, 2014. – С. 50 – 111.
22. Козлов Ю.С. Материаловедение. – М.: Издательство «Высшая школа», 1983 – С. 22 – 47.
23. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. - М.: Машиностроение, 1989.
24. Литвинова Т.А., Могилевский Д.В., Ноздрев Н.Н., Егоров С.Н., Пирожков Р.В. Металлографические исследования. Волгодонский инженерно-технический институт. «МИФИ». Волгодонск. 2014 15-19с.

25. Матвиенко К.Г. Исследование методов сравнения качества наборов дефектоскопических материалов для капиллярного контроля. Томский политехнический университет - г. Томск, 2012. 61-63с.
26. Методы неразрушающего контроля: учеб. пособие / С. С. Ивасев, А. В. Гирн, Д. В. Раводина ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2015. – 112 с.
27. Оборудование для дуговой сварки: справочное пособие / Под ред. В.В. Смирнова. Л. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1986.- 656 с.
28. Сварка. Резка. Контроль: справочник. В 2 т. / Н.П. Алешин [ и др.]. - Под общ. Ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. - М.: Машиностроение, 2004.- Т.1. - 624 с.
29. Сварочный трактор модели FDV 22 MF: руководство по эксплуатации 42,0426,0173 RU 2015г. -123с.
30. Смирнов М.А., Окишев К.Ю., Ибрагимов Х.М., Корягин Ю.Д. Материаловедение / Часть 1 // Учебное пособие. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2005. – С. 116 – 125.
31. Федоренко Г.А. Теория газовой защиты при дуговой сварке в защитных газах. - М.: Интермет Инжиниринг, 2012.
32. Agnieszka Bicz, Marcin Korzeniowski, Tomasz Piwowarczyk, Paweł Sokołowski, The visualization of ultrasonic signals and inspection of defects in Magnetically Impelled Arc Butt welded elements, 2017-52с.
33. Gabriel Maradei Carneiro de Rezende, Olga Liskévych, Louriel Oliveira Vilarinho, Américo Scotti, Um critério para determinar a regulagem da tensão em soldagem MIG/MAG por curto-circuito A criterion to determine voltage setting in short-circuit GMAW, 2020-27с.
34. Ilyaschenko D. P., Kryukov A. V., Lavrova E. V., Kuznetsov M. A., Determination of Parameters of Electrode Metal Transported Drops by Simulation and Visualization, 2020-42с.

35. Jung Hyun Park, Muralimohan Cheepu, Sang Myung Cho, Analysis and Characterization of the Weld Pool and Bead Geometry of Inconel 625 Super-TIG Welds, 2020г.-36с.
36. Niebel B.W., Draper A.E., Wysk R.A. Modern Manufacturing Process Engineering. McGraw-Hill, Inc., 1989.
37. Pan J. Arc welding and control theory. Proceedings of International Symposium of Japan Welding Society. – 1990. – Vol. 11 – P. 1033–1035.

## Приложение А

### Технические характеристики сварочного оборудования

TPS 600i	Напряжение сети ( $U_1$ )	3 x 400 В
	Макс. действующее значение первичного тока ( $I_{1\text{эф.}}$ )	44,4 А
	Макс. значение первичного тока ( $I_{1\text{макс.}}$ )	57,3 А
	Сетевой плавкий предохранитель	63 А, с задержкой срабатывания
	Допуск по напряжению сети	+/- 15 %
	Частота сети	50/60 Гц
	Cos phi (1)	0,99
	Макс. допустимое полное электрическое сопротивление сети $Z_{\text{макс.}}$ при PCC <sup>1)</sup>	возможные ограничения подключения 2)
	Рекомендованное устройство защитного отключения (УЗО)	Тип В
	Диапазон сварочного тока ( $I_2$ )	
	MIG/MAG	3–600 А
	Сварка TIG	3–600 А
	Сварка стержневым электродом	10–600 А
	Сварочный ток при 10 мин / 40 °C (104 °F)	60 % / 600 А 100 % / 500 А
	Диапазон выходных напряжений согласно стандартной графической характеристике ( $U_2$ )	
	MIG/MAG	14,2–44,0 В
	Сварка TIG	10,1–34,0 В
	Сварка стержневым электродом	20,4–44,0 В
	Напряжение холостого хода ( $U_0$ пик. / $U_0$ скв)	74 В
	Класс защиты	IP 23
	Вид охлаждения	Принудительное
	Категория перегрузки по напряжению	III
	Уровень загрязнений в соответствии с IEC 60664	3
	Класс ЭМС устройства	A <sup>3)</sup>
	Маркировка безопасности	S, CE
	Размеры (Д x Ш x В)	706 x 300 x 510 мм 27,8 x 11,8 x 20,1 дюйма
	Масса	50 кг/100,2 фунта
	Макс. давление защитного газа	7,0 бар / 101,5 фунта/дюйм <sup>2</sup>
	Охлаждающая жидкость	Оригинальная жидкость Fronius
	Макс. уровень шума (LWA)	83 дБ (А)
	Энергопотребление в нерабочем состоянии при 400 В	50 Вт

## Продолжение Приложение А

TPS 500i

Напряжение сети ( $U_1$ )	3 x 400 В
Макс. действующее значение первичного тока ( $I_{1зф.ф.}$ )	23,7 А
Макс. значение первичного тока ( $I_{1макс.}$ )	37,5 А
Сетевой плавкий предохранитель	35 А, с задержкой срабатывания
Допуск по напряжению сети	+/- 15 %
Частота сети	50/60 Гц
Cos phi (1)	0,99
Макс. допустимое полное электрическое сопротивление сети $Z_{макс.}$ при PCC <sup>1)</sup>	49 мОм
Рекомендованное устройство защитного отключения (УЗО)	Тип В
Диапазон сварочного тока ( $I_2$ )	
MIG/MAG	3–500 А
Сварка TIG	3–500 А
Сварка стержневым электродом	10–500 А
Сварочный ток при 10 мин / 40 °C (104 °F)	40 % / 500 А 60 % / 430 А 100 % / 360 А
Диапазон выходных напряжений согласно стандартной графической характеристике ( $U_2$ )	
MIG/MAG	14,2–39,0 В
Сварка TIG	10,1–30,0 В
Сварка стержневым электродом	20,4–40,0 В
Напряжение холостого хода ( $U_0$ пик. / $U_0$ скв)	71 В
Класс защиты	IP 23
Вид охлаждения	Принудительное
Категория перегрузки по напряжению	III
Уровень загрязнений в соответствии с IEC 60664	3
Класс ЭМС устройства	A <sup>2)</sup>
Маркировка безопасности	S, CE
Размеры (Д x Ш x В)	706 x 300 x 510 мм 27,8 x 11,8 x 20,1 дюйма
Масса	38 кг 838 фунтов
Макс. уровень шума (LWA)	74 дБ (A)
Энергопотребление в нерабочем состоянии при 400 В	34,1 Вт