

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

# ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности*

*1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»  
очной и заочной форм обучения*

Часть 2



Могилев 2023

УДК 621.9.07  
ББК 30.606  
Т33

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «03» февраля 2023 г., протокол № 9

Составитель канд. техн. наук, доц. А. Г. Лупачев

Рецензент Е. В. Ильюшина

Методические рекомендации к лабораторным работам по дисциплине «Теория сварочных процессов» предназначены для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства».

Учебное издание

ТЕОРИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Часть 2

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	М. М. Дударева

Подписано в печать 22.05.2023. .Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,75 . Тираж 32 экз. Заказ № 624.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

1 Лабораторная работа № 6. Исследование образования пор.....	4
2 Лабораторная работа № 7. Исследование механизма образования соединений при холодной сварке.....	9
3 Лабораторная работа № 8. Исследование технологической прочности металла в процессе кристаллизации.....	12
4 Лабораторная работа № 9. Исследование свариваемости сталей, склонных к закалке.....	16
5 Лабораторная работа № 10. Исследование содержания водорода в наплавленном металле.....	19
6 Лабораторная работа № 11. Исследование образования холодных трещин.....	21
7 Лабораторная работа № 12. Моделирование техники выполнения сварных соединений на базе симулятора сварочных процессов с использованием дополнительной 3D-реальности.....	23
8 Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ.....	25
9 Действия на случай возникновения загорания, пожара.....	27
10 Действия на случай других аварийных ситуаций.....	27
Список литературы.....	28

# 1 Лабораторная работа № 6. Исследование образования пор

**Цель работы:** изучить механизм порообразования в сварных швах и способы борьбы с пористостью.

## 1.1 Общие теоретические сведения

Порами называются газовые пустоты в металле шва. Поры образуются в период кристаллизации сварочной ванны. Причиной их образования является выделение газов жидкого металла вследствие следующих процессов:

– выделения газов, преимущественно водорода или азота, из раствора вследствие скачкообразного изменения растворимости при переходе из жидкого состояния в твердое:  $2[\text{H}] = \text{H}_2$ ;

– реакций в жидкой ванне, протекающих с образованием нерастворимых в металле газообразных продуктов:  $[\text{C}] + [\text{O}] = \text{CO}$ ;  $2[\text{H}] + [\text{O}] = \text{H}_2\text{O}$ .

Пористость является конечным результатом прохождения в жидком металле сложных металлургических процессов, основными из которых являются:

- 1) образование устойчивых газовых зародышей;
- 2) рост газовых зародышей из-за диффузии в них газов;
- 3) всплывание образующих газовых пузырьков на поверхность ванны (рисунок 1.1).

Вероятность образования устойчивого газового зародыша с энергетической точки зрения описывается уравнением

$$W = C \cdot \exp \frac{F}{kT},$$

где  $C$  – постоянная;

$F$  – изменение свободной энергии при образовании зародыша;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – температура.

Расчеты по формуле и экспериментальные данные показывают, что вероятность образования газового зародыша в «прозрачной» жидкости без готовых газовых включений весьма мала. Поэтому газовые зародыши в сварочной ванне образуются преимущественно на готовых поверхностях раздела: поверхности оплавленного металла, поверхности растущих кристаллов, поверхности твердых частиц в жидком металле. Важную роль играет смачиваемость этой поверхности жидким металлом: чем хуже смачивание, тем легче образуется газовый зародыш на границе раздела.

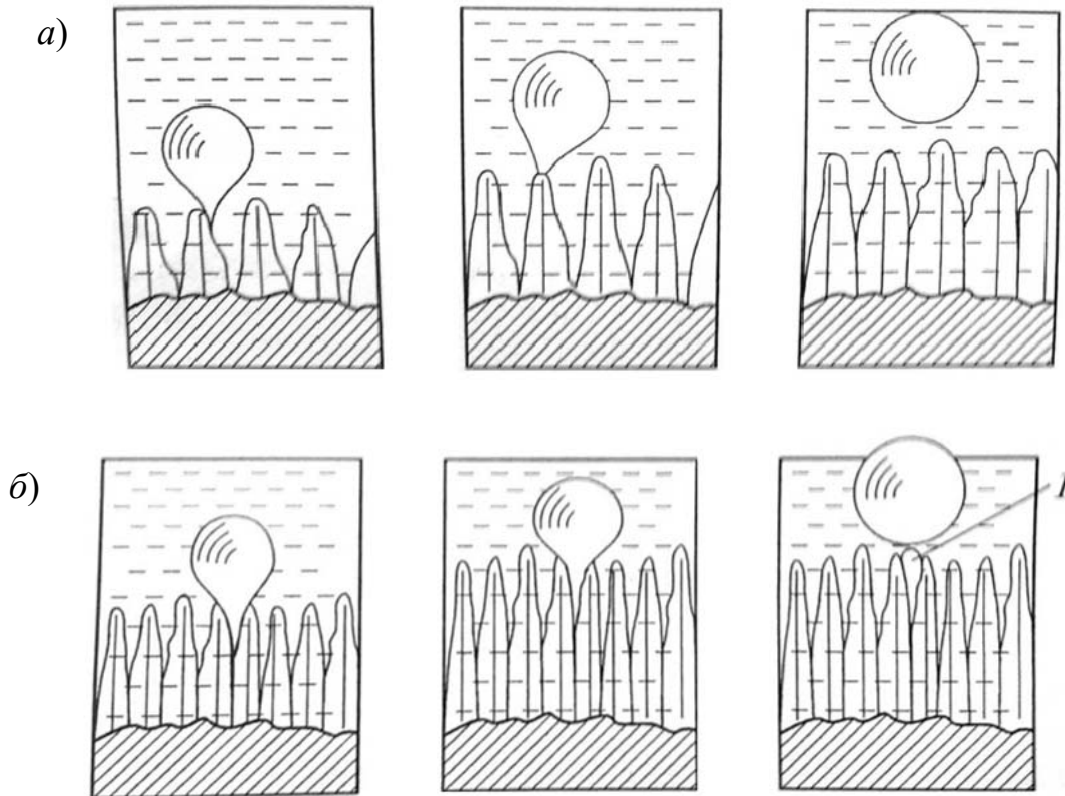


Рисунок 1.1 – Схема формирования газового пузырька и его отрыва от фронта кристаллизации металла шва при малой (а) и большой (б) скоростях сварки (1 – остаток газового пузырька внутри металла)

Для того чтобы газовый зародыш рос, необходимо, чтобы давление газа в нем достигало такой величины, которая способна преодолеть атмосферное давление, давление столба металла, столба шлака и силы поверхностного натяжения:

$$P = \gamma_m \cdot h_m + \gamma_{ш} \cdot h_{ш} + P_{ат} + \frac{2\sigma}{r},$$

где  $r$  – радиус газового пузырька;

$\sigma$  – поверхностное натяжение на границе фаз;

$P_{ат}$  – атмосферное давление;

$\gamma_{ш}$  – плотность шлака;

$\gamma_m$  – плотность металла;

$h_{ш}$  – высота слоя шлака над пузырьком;

$h_m$  – высота слоя металла над пузырьком.

Давление внутри пузыря  $P$  складывается из суммы парциальных давлений отдельных газов, диффундирующих в пузырях:

$$P = P_{H_2} + P_{CO} + P_{H_2O} + \dots$$

Среди всех газов особая роль в образовании пористости принадлежит водороду. В большинстве случаев сварки сталей и цветных металлов именно водород является ответственным за образование пор.

Давление газа в пузырьке зависит от степени насыщенности этим газом металла. Например, для выделения из раствора в пору водорода можно записать константу равновесия и из нее определить парциальное давление водорода:

$$K_p = \frac{P_{H_2}}{[H]^2};$$

$$P_{H_2} = K \cdot [H]^2.$$

Ограничение содержания газов в металле – основной способ предотвращения пор.

Не все газовые пузырьки, образующиеся в жидкости, дают поры в закристаллизовавшемся металле. Часть из этих пузырьков успевает всплыть на поверхность ванны. Чем больше размер пузырька, тем более энергично он всплывает на поверхность ванны. Скорость всплывания пузырьков определяется по формуле

$$V = \frac{2r^2}{9} \cdot \frac{\gamma_M \cdot g}{\eta},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;

$\eta$  – кинематическая вязкость жидкости.

Можно оценить, какие пузырьки всплывут на поверхность ванны и какие образуют поры.

Время нахождения ванны в расплавленном состоянии

$$t = \frac{L_{\text{ВАННЫ}}}{V_{\text{св}}}.$$

За это время пузырьки должны пройти путь, равный глубине ванны:

$$h = Vt.$$

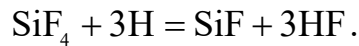
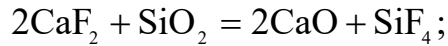
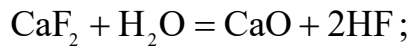
Поры не образуются, если

$$\frac{L}{V} > \frac{h}{\frac{2r^2}{9} \cdot \frac{\gamma_M \cdot g}{\eta}}.$$

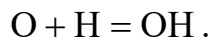
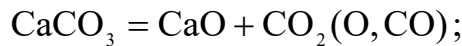
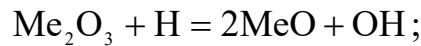
Эта формула является основной для анализа влияния режимов сварки на пористость швов.

Металлургические способы борьбы с пористостью направлены на связывание водорода в сварочной дуге в нерастворимые в металле соединения, что предотвращает насыщение металла водородом.

Водород может связываться в HF по реакциям



Для осуществления данных реакций во флюс вводится  $\text{CaF}_2$  и  $\text{SiO}_2$ . Этот способ широко используется при разработке плавящихся флюсов и электродных покрытий. Может применяться также связывание водорода в гидроксил:



Связывание водорода в гидроксил осуществляется путем введения в керамический флюс высших окислов (например, окислов железа, марганца) или мрамора.

Керамические флюсы отличаются высокой стойкостью против образования пор даже при сварке по ржавому металлу.

При использовании плавящихся флюсов этот путь борьбы с порами осуществить труднее, т. к. при плавке флюса высшие окислы восстанавливаются до низших, а мрамор диссоциирует на  $\text{CaO}$  и  $\text{CO}_2$ . Институт электросварки имени Е. О. Патона предложил для повышения стойкости плавящихся флюсов против образования пор вводить керамическую добавку АНК-3, состоящую из мрамора и ферросилиция, связанных жидким стеклом.

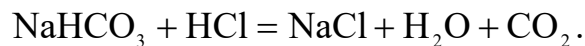
## ***1.2 Оборудование, приборы и материалы***

- 1.2.1 Сварочный автомат.
- 1.2.2 Специальный парафинированный стакан.
- 1.2.3 Линейка.
- 1.2.4 Весы с миллиграммовым разновесом.
- 1.2.5 Сварочный пост постоянного тока для ручной сварки.
- 1.2.6 Раствор соляной кислоты.
- 1.2.7 Раствор пищевой соды.
- 1.2.8 Пластина размером 300×400×15 с канавками.
- 1.2.9 Флюс АН-348А.
- 1.2.10 Проволока Св-08 или Св-08А.

- 1.2.11 Ржавчина.
- 1.2.12 Электроды УОНИИ 13/45.
- 1.2.13 Меловые электроды.

### ***1.3 Порядок проведения работы***

1.3.1 Исследовать образование газовых зародышей. стакан, часть внутренней поверхности которого парафинирована, заполнить раствором соляной кислоты. Затем в стакан добавить некоторое количество кислого углекислого натрия  $\text{NaHCO}_3$  (питьевой соды). Происходит реакция по уравнению



Внутри стакана начинается интенсивное образование пузырьков углекислого газа.

Дать оценку образованию газовых пузырьков на парафинированной и непарафинированной части стакана.

1.3.2 Исследовать рост газовых пузырьков и влияния на него насыщения сварочной ванны газами.

При сварке углеродистых сталей основная роль в образовании пор принадлежит водороду. Водород может находиться в составе металла, в ржавчине и окалине на поверхности металла, в масляных загрязнениях, в пленках, адсорбированных на поверхности металла, во влаге флюса и электродного покрытия.

1.3.2.1 В канавки на поверхности металла, размеченные на участки длиной по 100 мм, насыпать строго дозированные количества ржавчины (0, 200, 400, 600, 800 мг) и равномерно распределить по длине канавки. В канавке произвести наплавку под флюсом АН-348А на переменном токе. После удаления шлака визуально определить, при каком количестве ржавчины на 100 мм порообразование начинается. Для определения влияния влаги на образование пор произвести наплавку под сухим (прокаленным) и влажным флюсом и оценить пористость.

1.3.2.2 Влияние азота на образование пор оценить путем наплавки валика на пластину, предварительно наплавленную электродами УОНИИ 13/45 и электродами с ионизирующим покрытием (меловым). Следует учесть, что в наплавке голыми электродами содержится 0,15 %...0,40 % азота.

1.3.2.3 Для оценки влияния условий насыщения сварочной ванны водородом, которые зависят от рода и полярности тока, подпункт 1.3.2.1 повторить при сварке на постоянном токе прямой и обратной полярности.

1.3.3 Влияние на порообразование условий всплывания газовых пузырьков на поверхность ванны.

Условия всплывания газовых пузырьков и освобождение от них металла ванны могут регулироваться за счет изменения режимов сварки. При изменении сварочного тока и скорости сварки изменяется форма ванны, ее



размеры и время существования. Подпункт 1.3.2.1 пункта 1.3.2 повторить при сварке на других режимах (пониженная скорость сварки или повышенный ток).

#### 1.3.4 Металлургические способы воздействия на пористость.

Исследовать по подпункту 1.3.2.1 пункта 1.3.2 влияние введения во флюс АН-348А керамической добавки АНК-3, состоящей из мрамора и ферросилиция, связанных жидким стеклом.

При наплавке валика под флюсом на направленный ранее голым электродом металл во флюсе ввести алюминиевый порошок.

### ***1.4 Содержание отчета***

1.4.1 Цель работы.

1.4.2 Рабочее задание.

1.4.3 Рисунок стаканчика с газовыми пузырьками.

1.4.4 Рисунок пластины с указанием мест насыпания ржавчины.

1.4.5 Результаты экспериментов.

1.4.6 Ответы на контрольные вопросы.

1.4.7 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Чем опасна пористость?

2 Каким образом можно подавить пористость за счет управления процессом образования газовых зародышей?

3 Какими профилактическими мерами воздействия на основные и вспомогательные материалы можно уменьшить пористость?

4 Влияет ли на пористость предварительный подогрев металла при сварке?

5 Какие параметры режима сварки рациональнее изменять для уменьшения пористости?

6 Как изменяется растворимость азота и водорода в металле в зависимости от температуры?

7 Сущность способа борьбы с порами при сварке в  $\text{CO}_2$ .

## **2 Лабораторная работа № 7. Исследование механизма образования соединений при холодной сварке**

***Цель работы:*** исследовать механизм образования сварного соединения при холодной сварке и изучить влияние технологических параметров на качество сварного соединения.

### ***2.1 Общие теоретические сведения***

Для получения качественного сварного соединения методами холодной сварки атомы металла у поверхности соприкосновения соединяемых деталей необходимо сближать на такое расстояние, на котором оно находится внутри металла.

Задача сближения большого количества атомов на расстояние параметра кристаллической решетки является технически достаточно трудной.

Реальная поверхность твердого тела, как бы тщательно она не была обработана, имеет микронеоднородности и шероховатости. Всегда на поверхности имеются трудноудаляемые адсорбционные слои газов, воды и других веществ. Поэтому при контакте реальных твердых тел фактическое соприкосновение происходит лишь в отдельных точках и площадь действительного контакта ничтожно мала по сравнению с общей площадью даже при наличии хорошо обработанных пригнанных поверхностей.

Только при полном отсутствии на поверхности металла чужеродных атомов поверхность можно считать ювенильной или физически чистой. Такую поверхность можно получить при разрушении металла. Только что образовавшаяся поверхность является ювенильной. Ювенильные поверхности обладают особыми химическими и каталитическими свойствами. Сохранить длительное время поверхность можно только в условиях сверхвысокого вакуума. При соприкосновении ювенильных поверхностей со средой или низким вакуумом начинается ее мгновенное химическое воздействие: окисление, адсорбция и др.

При наличии атмосферы любого состава и давления ювенильная поверхность мгновенно покрывается слоями адсорбированных газов и молекул.

В реальных условиях поверхность металла имеет сложную систему адсорбционных слоев. Обычно над поверхностью находятся слои окислов, прочно связанные с металлом. Их толщина достигает нескольких десятков ангстрем. Над слоями окислов в зависимости от конкретных условий могут присутствовать слои газов и воды.

На внешней поверхности могут также присутствовать адсорбционные слои полярных молекул органических веществ (смазка, масло). Жировые слои могут достигать значительных размеров. Например, после промывки металла с масляным покрытием керосином или бензином слой органических молекул составляет 1...5 мкм и только при особо значительной обработке растворителями жировая пленка сохраняется толщиной 10...100 молекулярных слоев.

Жировые молекулы обладают свойством глубоко проникать во все микротрещины на поверхности металла. Окислы значительно тверже металла и, как правило, очень хрупки. Жировые пленки очень пластичны и способны растягиваться, не растрескиваясь при пластической деформации.

Для выполнения холодной сварки весьма существенно состояние соединяемых поверхностей. Они должны быть предварительно механически обработаны для устранения более крупных неровностей. Небольшие неровности удалять необязательно, они могут быть даже полезны для ранней стадии сварки, т. к. создают местные концентрации напряжений и начальные центры схватывания, которые, расширяясь, постепенно охватывают всю поверхность соединения. Поэтому особенно тщательно готовить детали не следует, достаточно обычной шлифовки. Чаще всего для подготовки поверхностей используют обезжиривание и обработку металлической щеткой.

## **2.2 Оборудование, приборы и материалы**

- 2.2.1 Пресс гидравлический.
- 2.2.2 Разрывная машина.
- 2.2.3 Зачистной станок с металлической щеткой.
- 2.2.4 Микроскоп металлографический.
- 2.2.5 Приспособление для холодной сварки.
- 2.2.6 Штангенциркуль.
- 2.2.7 Листовые материалы – медь МЗ и алюминий А толщиной 1,5...2 мм;
- 2.2.8 Ацетон.
- 2.2.9 Оборудование и материалы для изготовления шлифов.

## **2.3 Порядок проведения работы**

2.3.1 Зачистить образцы из алюминия или меди разными способами: наждачной бумагой, напильником, вращающейся стальной щеткой и др.

2.3.2 Произвести сварку серий образцов внахлестку на механическом сварочном прессе или встык – на ручном приспособлении. При сварке варьировать степень осадки.

2.3.3 Сваренные образцы разрушить на разрывной машине, измеряя усилие разрушения.

2.3.4 Изучить поверхности разрушения визуально невооруженным глазом или под лупой.

2.3.5 Построить зависимость величины разрушающего усилия от степени пластической деформации.

2.3.6 Объяснить полученные результаты.

## **2.4 Содержание отчета**

- 2.4.1 Цель работы.
- 2.4.2 Рабочее задание.
- 2.4.3 Краткое описание исследуемого способа холодной сварки.
- 2.4.4 Схема устройства для сварки.
- 2.4.5 Графики полученных зависимостей.
- 2.4.6 Выводы по работе.

## **Контрольные вопросы**

- 1 Какова роль пластических деформаций в образовании соединения?
- 2 Как получают чистые поверхности в процессе сварки?
- 3 Какие еще устройства (кроме использованных в работе) могут быть применены для холодной сварки?
- 4 Почему прочность соединения зависит от степени пластической деформации?
- 5 Найдите области использования холодной сварки.

### **3 Лабораторная работа № 8. Исследование технологической прочности металла в процессе кристаллизации**

*Цель работы:* ознакомиться с механизмами образования горячих трещин и методами определения склонности к образованию горячих трещин.

#### **3.1 Общие теоретические сведения**

Под термином «горячие трещины» понимают хрупкие межкристаллитные разрушения в процессе кристаллизации металла. Горячие трещины являются одним из распространенных дефектов сварки металлургического происхождения и наиболее часто возникают в сплавах, затвердевание которых заканчивается однофазным крупнокристаллическим строением с высокой концентрацией легкоплавких фаз и других дефектов кристаллического строения по границам кристаллов. В металле шва горячие трещины могут развиваться параллельно и перпендикулярно оси шва обычно по границам кристаллов.

Кроме трещин, распространяющихся по первичным границам, образующимся при затвердевании сварного шва, трещины могут образовываться по «новым» границам, образующимся в процессе остывания шва. Новые границы кристаллитов могут образовываться при высоких температурах вследствие скопления несовершенства кристаллической решетки.

Современная теория образования горячих трещин основана на сопоставлении интенсивности нарастания деформаций, возникающих в металле при сварке, с изменением его деформационной способности.

В процессе сварки кристаллизующийся и остывающий металл находится под воздействием растягивающих напряжений, возникающих и развивающихся в сварном соединении вследствие несвободной усадки шва и прилегающих участков неравномерно нагретого основного металла. Поэтому металл шва в процессе кристаллизации подвергается пластической деформации.

Кристаллизующийся металл сварочной ванны последовательно проходит стадии жидкого, жидко-твердого, твердо-жидкого и твердого состояний. Пластичность жидкого металла велика. По мере увеличения соотношения между объемом твердой и жидкой фазы пластичность металла падает вследствие образования жесткого каркаса кристаллитов и прекращения свободной циркуляции жидкости.

В твердо-жидком состоянии пластичность металла весьма мала. Интервал температур, в котором пластичность металла пониженная, носит название температурного интервала хрупкости (ТИХ). Деформация металла в ТИХ приводит к хрупкому разрушению по межкристаллическим прослойкам, в которых еще не закончен процесс кристаллизации.

При дальнейшем охлаждении металла происходит повышение вязкости и поверхностного натяжения прослоек, а их прочность возрастает до таких значений, которые оказываются выше напряжений сдвига кристаллов. При этом деформирование металла развивается за счет сдвиговых деформаций тела

кристаллов, а не границ зерен, пластичность металла резко возрастает, а характер разрушения становится внутрикристаллическим. Наименьшая пластичность имеет место на завершающей стадии процесса кристаллизации.

Деформация металла определяется величиной усадки кристаллизующегося металла и величиной усадки прилегающих участков основного металла. В зависимости от форм, размеров и жесткости сварного соединения, а также режимов и технологии сварки величина деформации металла к концу процесса кристаллизации может быть меньше, равной либо больше величины. В последних двух случаях образование кристаллизационных трещин будет неизбежным.

В некоторых сплавах возможно существование нескольких температурных интервалов хрупкости ТИХ: ТИХ I, ТИХ II, ТИХ III. ТИХ I находится в нижней части интервала кристаллизации и характерен для всех сплавов. ТИХ II, ТИХ III существуют у некоторых сплавов в твердофазном состоянии металла при температурах ниже температуры неравновесного солидуса.

Горячие трещины в ТИХ I образуются по жидким прослойкам в период завершения кристаллизации шва, а также в околошовной зоне по оплавленным границам в период нагрева. Горячие трещины такого типа называются кристаллизационными или ликвационными трещинами соответственно в шве и в околошовной зоне. Эти трещины характерны для всех типов сплавов.

Горячие трещины в ТИХ II образуются в закристаллизовавшихся шве и околошовной зоне в период интенсивного развития процессов самодиффузии атомов основы и миграции границ зерен. В результате этих процессов происходит межзеренное проскальзывание и зарождение горячих микротрещин. Горячие трещины такого типа называются подсолидусными или полигонизационными трещинами. Они характерны для однофазных аустенитных и никелевых сплавов. Полигонизационные горячие трещины образуются ниже температуры солидуса, когда металл уже закристаллизовался. При этих температурах происходит процесс образования новых границ зерен (полигонизация) вследствие перемещения в определенные места несовершенств кристаллической решетки. По новым границам при определенных условиях напряженного состояния образуются трещины, т. к. эти границы при высокой температуре имеют пониженную прочность.

Горячие трещины в ТИХ III образуются в результате охрупчивания, обусловленного распадом твердого раствора с выпадением мелкодисперсных интерметаллидных и карбонитридных фаз (например, фазы  $\text{Ni}_3\text{TiAl}$  в высоконикелевых сплавах). Дисперсионное упрочнение объема зерен приводит к локализации пластических деформаций по приграничным участкам и относительному проскальзыванию зерен и зарождению горячих микротрещин. Такие горячие трещины называются трещинами дисперсионного твердения. Они характерны для высоколегированных гетерогенных жаропрочных аустенитных сталей и никелевых сплавов.

Стойкость сварных соединений против образования горячих трещин может быть оценена различными методами. По назначению их разделяют на две категории:

1) методы для оценки сопротивляемости сплавов образованию горячих трещин безотносительно к типу и размерам образцов;

2) методы для оценки стойкости или склонности к образованию горячих трещин при заданном составе сплава и режиме сварки.

Расчетно-статистический метод оценки склонности металла к образованию горячих трещин при сварке основан на использовании параметрических уравнений, составленных с помощью регрессионного анализа. Одно из параметрических уравнений (по Итамуре) применительно к низколегированным сварным швам имеет вид:

$$HCS = C(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100}) \cdot \frac{1000}{3Mn + Cr + Mo + V},$$

где  $HCS$  (high-temperature cracking sensitivity) – параметр, оценивающий (в баллах) склонность сварных швов к образованию кристаллизационных горячих трещин;

$C$ ,  $S$  и др. – содержание химических элементов (в процентах) в металле шва.

Если  $HCS > 4$ , то сварные швы потенциально склонны к образованию горячих трещин. Это означает, что в условиях высокого темпа сварочной деформации в ТИХ I возможно образование горячих трещин. Параметр  $HCS$  позволяет качественно оценивать влияние легирующих элементов и примесей на сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин.

Применительно к хромоникелевым аустенитным сварным швам используют параметр, оценивающий степень их аустенитности:

$$Cr_3 = Cr + 1,37 \cdot Mo + 1,5 \cdot Si + 2 \cdot Nb + 3 \cdot Ti;$$

$$Ni_3 = Ni + 22 \cdot C + 0,3 \cdot Mn + 14,2 \cdot N_2 + Cu,$$

где  $Cr_3$  и  $Ni_3$  – параметры, так называемые хром- и никель-эквиваленты;

$Cr$ ,  $Ni$  и др. – содержание химических элементов, %.

Если  $Cr_3 / Ni_3 < 1,5$ , то сварные швы потенциально склонны к образованию кристаллизационных горячих трещин. Если  $Cr_3 / Ni_3 > 1,5$ , то вероятно появление в аустенитном шве ферритной фазы, которая приводит к образованию мелкокристаллитной первичной структуры шва, изменению состава межкристаллитных жидких прослоек и в результате – к увеличению минимальной пластичности.

Недостатком этих расчетных методов является невозможность учета влияния всех примесей, не входящих в параметрические уравнения.

Прямые методы определения склонности металла к образованию горячих трещин могут предусматривать оценку по длине трещины или по критическому темпу деформации.

Критерием устойчивости сплавов против образования горячих трещин может быть критическая скорость растяжения в ТИХ, при которой еще не образуются трещины. В машине ММИ-2 образцы подвергаются растяжению

в процессе сварки. Кинематическая схема машины ММИ-2 включает двигатель постоянного тока, редуктор, винт с гайкой и рычаг. Скорость перемещения захватов и, следовательно, скорость растяжения регулируется за счет изменения скорости вращения двигателя реостатом.

При проведении испытаний на машине ММИ-1 используются образцы Murex BBS.

Сварка производится в положении «в лодочку», в процессе остывания шов подвергается изгибу с постоянной скоростью. Критерием стойкости металла шва против образования трещин является максимальный угол раскрытия образца, при котором еще не появляются трещины.

### ***3.2 Оборудование, приборы и материалы***

3.2.1 Установка для определения склонности к образованию горячих трещин ММИ-1, ММИ-2.

3.2.2 Сварочный пост для ручной сварки, автомат для сварки под флюсом.

3.2.3 Electrodes различных марок (АНО-1, ОЗС-3, АНО-5, УОНИИ-13/45 и др.).

3.2.4 Графитовый порошок.

3.2.5 Сернистое железо.

3.2.6 Заготовки для образцов из стали Ст3.

### ***3.3 Порядок проведения работы***

3.3.1 Задание по работе указывается преподавателем. Работа может выполняться на машине ММИ-1 или ММИ-2. Вариант работы может предусматривать выполнение на одной из машин следующих исследований.

3.3.2 Определить влияние на технологическую прочность содержания серы и углерода в шве.

3.3.3 Сравнительное испытание на технологическую прочность электродов различных марок.

3.3.4 Сравнительное испытание на стойкость против образования трещин алюминиевых сплавов различных марок.

### ***3.4 Содержание отчета***

3.4.1 Цель работы.

3.4.2 Рабочее задание.

3.4.3 Схема проведения эксперимента.

3.4.4 Результаты эксперимента.

3.4.5 Ответы на контрольные вопросы.

3.4.6 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Назовите причины образования горячих трещин.

2 Что называют температурным интервалом хрупкости?

- 3 В чем заключаются особенности кристаллизации металла сварочной ванны?
- 4 Как образуются полигонизационные трещины?
- 5 Как оценивают стойкость сварных соединений против образования горячих трещин?
- 6 Перечислите и опишите способы борьбы с горячими трещинами.

#### **4 Лабораторная работа № 9. Исследование свариваемости сталей, склонных к закалке**

**Цель работы:** изучить влияние режимов сварки и последующей термообработки стали 30ХГСА на микроструктуру и твердость металла околошовной зоны.

##### **4.1 Общие теоретические сведения**

Термические циклы отдельных точек зоны термического влияния (ЗТВ), находящиеся на различных расстояниях от шва, неодинаковы, поэтому сварное соединение обладает неоднородной структурой и различными свойствами отдельных участков.

Характер получаемых структур в ЗТВ зависит от состава свариваемого металла, а также примененного теплового режима при сварке, обуславливающего ту или иную скорость охлаждения металла.

Повышенное количество в металле таких примесей, как углерод, хром, никель, марганец, молибден и другие, увеличивает стойкость аустенита, вследствие чего его распад может быть при температурах ниже точки  $A_{c1}$ . О характере получаемых при этом структур можно приближенно судить по диаграмме изотермического распада аустенита данной стали. Если этот распад протекает в верхнем субкритическом интервале температур ( $T_{A1}-T_{min}$ ), продуктами распада могут быть перлит-сорбит-троостит. Этому отвечает скорость охлаждения металла, менее или равная критической  $W_{кр}$ .

Распад же переохлажденного аустенита ниже этих температур дает присутствие игольчатых структур в том или ином количестве, а при температуре  $T_m$  наблюдается мартенситное превращение.

Однако диаграмма изотермического распада переохлаждаемого аустенита не учитывает непрерывность охлаждения металла, поэтому точнее критическую скорость охлаждения следует определять по термокинетической диаграмме распада переохлажденного аустенита.

Появление мартенсита наиболее вероятно в околошовной зоне (участке перегрева), т. к. здесь наиболее высокие температуры нагрева и металл охлаждается с повышенной скоростью.

Структура мартенсита является одной из причин появления холодных трещин в околошовной зоне.



Теория распространения тепла при сварке позволяет определять тепловой режим, который обеспечивал бы получение сварного соединения удовлетворительной структуры и свойств.

При расчете режима сварки следует рассчитывать на такую скорость охлаждения металла околошовной зоны, которая была бы менее критической. Это достигается замедлением скорости охлаждения металла, которое может быть осуществлено увеличением погонной энергии или предварительным нагревом металла перед сваркой.

Из термокинетической диаграммы распада аустенита стали 30ХГСА можно определить температуру, отвечающую критической точке  $A_{c1}$ , температуру наименьшей устойчивости аустенита  $T_{\min}$  и отвечающую этому времени  $t_{\min}$ , а следовательно, обосновать расчетом тепловой режим при сварке этой стали.

## **4.2 Оборудование, приборы и материалы**

4.2.1 Сварочный трактор АДГ-601 с питанием от источника постоянного тока.

4.2.2 Пластина из стали 30ХГСА размером 200×160×10 мм – 2 шт.

4.2.3 Электродная проволока Св-10Х2СМА (Св-08Г2С) диаметром 1,2 мм – 1 кг.

4.2.4 Муфельная печь для нагрева образцов с термопарой.

4.2.5 Пила маятниковая с абразивными кругами в количестве 4 шт.

4.2.6 Шлифовальная бумага от N3 до N800 – по 0,5 м; фильтровальная бумага – 0,5 м.

4.2.7 3-процентный спиртовой раствор  $\text{HNO}_3$  – 20 мл; спирт-ректификат – 25 мл.

4.2.8 Микроскоп металлографический.

4.2.9 Микротвердомер ПМТ-3.

4.2.10 Твердомер ТК-2.

4.2.11 Станок для полировки шлифов; алмазная паста N1/0 – 5 г.

4.2.12 Инструменты: металлическая линейка, секундомер, молоток, зубило, пассатижи, цифровые клейма.

## **4.3 Порядок проведения работы**

4.3.1 Расчетная часть.

Для оценки свариваемости стали 30ХГСА определяется эквивалент по углероду для данной стали в соответствии с формулой

$$C_{\text{экв}} = \%C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{V}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{Ni}}{15} + \frac{\text{Cu}}{13} + \frac{\text{P}}{2} .$$

По полученному значению  $C_{\text{экв}}$  делается общее заключение по свариваемости стали 30ХГСА. При  $C_{\text{экв}} = 0,45\%$  – сталь склонна к образованию трещин.

С помощью термокинетической диаграммы распада аустенита стали 30ХГСА производится определение критической скорости охлаждения металла по формуле

$$W = \frac{T_{A1} - T_{\min}}{t_{\min}}.$$

По применяемому для сварки режиму (режим сварки выдается преподавателем) определяется скорость охлаждения околошовной зоны при температуре наименьшей устойчивости аустенита.

Для этого сначала определяется безразмерный критерий процесса

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2 \cdot q / v}{\pi \cdot c\gamma \cdot \delta^2 (T_{\min} - T_0)},$$

где  $c\gamma$  – объемная теплоемкость для стали 30ХГСА;

$\delta$  – толщина образца;

$q/v$  – исследуемая погонная энергия;

$T_0$  – начальная температура образца,  $T_0 = 20$  °С.

Если  $\theta$  окажется менее 2,5, то для схемы тела «плоский слой» определяется  $v/\theta$ , а если окажется равной или более 2,5, тогда определение  $V/\theta$  производится по схеме «тонкая пластина».

Скорость охлаждения в околошовной зоне

$$W = \frac{v}{\theta} \cdot \frac{2\pi\lambda(T_{\min} - T_0)^2}{q/v},$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности для стали 30ХГСА.

Сначала производим расчет скорости охлаждения околошовной зоны для случая наплавки валика на пластину без предварительного нагрева ( $T_0 = 20$  °С).

Полученное значение  $W$  сопоставляется с критической скоростью охлаждения для данной стали  $W_{кр}$ .

Если расчетная скорость охлаждения будет больше критической, необходимо отрегулировать термический цикл сварки в целях получения в околошовной зоне достаточно пластических структур. Повышая одновременно погонную энергию и задавая предварительным нагревом, т. е. замедляя охлаждение металла, следует получить  $W < W_{кр}$ .

#### 4.3.2 Экспериментальная часть.

Производится автоматическим способом наплавка валика на образец на двух режимах сварки, задаваемых преподавателем. Сведения о режимах заносятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Режимы сварки

Номер режима	Диаметр проволоки, мм	Ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, см/с	Погонная энергия, Дж/см	Примечание

#### ***4.4 Содержание отчета***

4.4.1 Название и цель работы.

4.4.2 Рабочее задание.

4.4.3 Схема измерения твердости.

4.4.4 Эскизы шлифов и их описание.

4.4.5 Описание влияния термообработки и режимов сварки на свойства сварных соединений.

4.4.6 Выводы по работе.

#### ***Контрольные вопросы***

1 Что такое эквивалент по углероду и каким образом с его помощью можно оценить свариваемость стали?

2 Какое строение имеет ЗТВ при сварке сталей, склонных к закалке?

3 Что такое мартенсит и почему его появление в околошовной зоне может быть причиной образования трещин?

4 Как определяется мгновенная скорость охлаждения околошовной зоны?

5 Каким путем можно регулировать термический цикл основного металла?

6 Можно ли улучшить структуру металла сварного соединения?

## **5 Лабораторная работа № 10. Исследование содержания водорода в наплавленном металле**

***Цель работы:*** овладеть методикой определения диффузионно-подвижного водорода в металле и оценить влияние влажности сварочных материалов на содержание водорода в металле шва.

### ***5.1 Общие теоретические сведения***

Водород в металл сварного соединения переходит из сварочных материалов, атмосферы дуги и вследствие термодиффузии из менее нагретых зон основного металла.

Максимальная растворимость водорода в жидком железе наблюдается при температуре 2450 °С и составляет при нормальном давлении 405 см<sup>3</sup> на килограмм металла.

При температуре плавления растворимость водорода находится в пределах 280...266 см<sup>3</sup>/кг.

В твердом металле водород может быть атомарным (или ионизированным) решеточным, растворенным в кристаллической решетке до предела растворимости; атомарным, решеточным неравновесным, растворенным в кристаллической решетке сверх предела растворимости; атомарным в субмикроскопических ловушках; молекулярный в микро- и макроколлекторах, причем ловушками атомарного водорода являются скопления вакансий и дислокаций, плоскости сдвига, границы зерен и блоков.

Газовые поры, полости около неметаллических включений и карбидов, другие микроскопические дефекты являются коллекторами молекулярного водорода.

При изменении температуры различные формы пребывания водорода в металле переходят друг в друга.

В зависимости от диффузионной подвижности водорода в металле различают:  $H_{дп}$  – диффузионно-подвижный водород;  $H_{кн}$  – водород, способный к диффузии при градиентах температур и концентрации напряжений;  $H_{дс}$  – водород, связанный с дефектами структуры и не диффундирующий в металле.

$H_{дп}$  включает все формы атомарного решеточного водорода ( $H$ ,  $H^+$ ,  $H^-$ ). Поскольку всегда существует градиент концентраций водорода на поверхности металла, то имеет место непрерывный выход водорода в атмосферу.

Через определенный период времени практически весь водород должен десорбироваться из металла. Свободно выделившийся водород  $H_2$  приближенно принимают за исходное содержание  $H_{дп}$ . Часть  $H_{дп}$ , не успевшая выделиться из металла, и  $H_{дс}$  составляют остаточный водород  $H_{ост}$ .

## **5.2 Оборудование, приборы и материалы**

5.2.1 Сварочный автомат с источником питания.

5.2.2 Печь для флюса.

5.2.3 Приспособление для получения «карандашных проб».

5.2.4 Прибор для определения диффузионно-подвижного водорода (эвдиометр).

5.2.5 Весы с разновесами.

5.2.6 Глицерин 0,5 л.

5.2.7 Пластина с отверстиями диаметром 8 мм толщиной 12 мм.

5.2.8 Сварочная проволока, флюс или газы:  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $Ar$ .

## **5.3 Порядок проведения работы**

По указанию преподавателя сваркой под флюсом (с разной влажностью флюса), сваркой в смеси газов (с разной концентрацией  $O_2$ ) или электродами различных марок наплавить валик на пластину. Образцы охладить водой, сбить шлак, насухо вытереть и поместить в эвдиометр. На следующем занятии измеряют объемы водорода, выделившиеся из образцов, обрабатывают результаты экспериментов, делают выводы, объясняющие их.

## **5.4 Содержание отчета**

- 5.4.1 Название и цель работы.
- 5.4.2 Схема лабораторной установки.
- 5.4.3 Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Как влияет содержание водорода в металле на его свойства?
- 2 Роль водорода в образовании холодных трещин.
- 3 Источники попадания водорода в металл сварного соединения.
- 4 Формы пребывания водорода в металле сварных соединений и его миграция.

## **6 Лабораторная работа № 11. Исследование образования холодных трещин**

**Цель работы:** освоение методики определения чувствительности к образованию холодных трещин при сварке закаливаемых сталей.

### **6.1 Общие теоретические сведения**

Холодные трещины – локальные межкристаллические разрушения металла сварных соединений. Основными факторами, обуславливающими возникновение трещин, являются:

- структурное состояние металла сварного соединения, характеризующее наличием структурных составляющих мартенситного и бейнитного типа;
- уровень растягивающих сварочных напряжений, определяемый жесткостью сварной конструкции, режимом сварки, типом металла шва и другими причинами;
- содержание и распределение водорода в металле сварного соединения после сварки, зависящее от концентрации водорода в атмосфере дуги, исходного содержания водорода в основном металле и других условий.

Холодные трещины являются одним из случаев замедленного разрушения «свежезакаленной» стали. Закономерности замедленного разрушения следующие:

1) разрушение возникает после некоторого инкубационного периода при деформировании с малыми скоростями или нагружении постоянной нагрузкой. При этом сопротивление разрушению много меньше кратковременной прочности и зависит от времени действия нагрузки;

2) сопротивление разрушению постепенно возрастает с увеличением времени после термического воздействия (от одних суток до одного года) в результате процесса «отдыха»;

3) склонность к замедленному разрушению заметно ослабляется при нагреве до 100 °С...150 °С и полностью исчезает при нагреве до 200 °С...300 °С. Замедленное разрушение свежезакаленной стали связано с микропластическим

течением по границам зерен. Очаги холодных трещин возникают в приграничных зонах и по границам зерен.

Для определения склонности сварного соединения к образованию холодных трещин предложены различные технологические пробы. Они почти во всех случаях представляют собой жесткое закрепление свариваемых элементов той или иной формы.

Эффективность проб характеризуется способностью воспроизводить трещины в материалах с низкой склонностью к трещинам. Одной из самых чувствительных проб является крестовая.

## ***6.2 Оборудование, приборы и материалы***

6.2.1 Автомат для сварки под флюсом.

6.2.2 Металлографический микроскоп.

6.2.3 Установка для изготовления шлифов.

6.2.4 Флюс АН-348А.

6.2.5 Проволока Св-08 или Св-08А.

6.2.6 Пластины из закаливающих сталей, например стали 65Г из автомобильных рессор.

6.2.7 Реактивы для травления шлифов.

## ***6.3 Порядок проведения работы***

Образцы крестовой пробы вырезаются механическим путем. Сварку образца выполняют без зазора с помощью связующих швов. При сварке с помощью термпары контролируется начальная температура пробы.

На первом занятии сваривают пробу. После сварки образцы выдерживают не менее 24 ч. На следующем занятии из пробы вырезают поперечные темплеты. Для контроля с целью определения наличия трещин изготавливаются шлифы. Шлифы травят 2...4-процентным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Микрошлифы просматривают под микроскопом при увеличении.

Основным качественным критерием склонности к трещинам является факт наличия или отсутствия трещин в образце пробы. За дополнительные критерии, имеющие полуколичественный характер, принимают начальную температуру образца пробы или номер шва, при которых образуются трещины.

Для различных образцов задается разная погонная энергия сварки с тем, чтобы можно было установить зависимость склонности к образованию трещин от погонной энергии.

## ***6.4 Содержание отчета***

6.4.1 Название и цель работы.

6.4.2 Описание хода выполнения работы.

6.4.3 Эскиз образца крестовой пробы с указанием порядка наложения слоев.

6.4.4 Режимы сварки, расчетное значение погонной энергии.

6.4.5 Результаты исследования микрошлифов.

#### 6.4.6 Выводы.

##### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какие факторы обуславливают возникновение холодных трещин?
- 2 Какие стали чувствительны к образованию холодных трещин?
- 3 Каковы критерии чувствительности соединений к образованию холодных трещин при применении крестовой пробы?
- 4 Какой вид разрушения обнаружен при исследовании микрошлифов?
- 5 Методы предотвращения образования холодных трещин.
- 6 Раскройте механизм образования холодных трещин.

### **7 Лабораторная работа № 12. Моделирование техники выполнения сварных соединений на базе симулятора сварочных процессов с использованием дополнительной 3D-реальности**

***Цель работы:*** освоение техники выполнения сварных соединений с использованием симулятора дополнительной 3D-реальности.

#### ***7.1 Общие теоретические сведения***

В работе используется обучающая система Soldamatic. Soldamatic – это система обучения посредством Усовершенствованной реальности, которая позволяет сократить затраты и одновременно повысить эффективность обучения в рамках любого курса сварки. Она улучшает процесс образования студентов и позволяет им получить достаточные навыки перед тем, как начать обучение в условиях реальной мастерской для сварки. Основанный на геймификации данный инструмент облегчает процесс обучения и повышает мотивацию студентов. Использование Усовершенствованной реальности обеспечивает возможность трансформации физического предмета таким образом, что он ведет себя в соответствии с действиями пользователя, позволяя заметно увеличить время эффективной практики.

Soldamatic является не просто станцией для виртуального тренинга, а целой экосистемой, которая состоит из моделирующих устройств, соединенных в локальную сеть и подключенных к одному серверу.

В платформу встроен обучающий теоретический модуль, который совмещен с выполнением различных упражнений в виртуальном модуле, что значительно увеличивает процент усвоенной теоретической информации.

Форма моделирующего устройства в рамках Дополненной реальности для обучения Soldamatic навеяна реальным оборудованием для сварки. Поддерживает четыре процесса ручной сварки с использованием электрической дуги. Устройство выполнено на аппаратной базе стационарных ПК (рисунок 7.1, а), которая позволяет реализовать реалистичную графическую визуализацию

процесса сварки. Также имеется встроенный монитор для контроля процесса обучения преподавателем, что позволяет делать поправки в реальном времени.

С помощью шлема (рисунок 7.1, б) Дополненной реальности ученик получает реалистичные ощущения от виртуального процесса сварки, что реализовано с помощью наложения визуальных эффектов сварки на области горелки и заготовок. На экран шлема выводится информация о параметрах сварочного режима, а также динамические подсказки, позволяющие контролировать правильный дуговой промежуток, положение горелки и скорость ее перемещения.

В комплект поставки оборудования входят две учебные горелки для TIG- и MIG-сварки (рисунок 7.1, в, д), выполненные в дизайне марки Abicor Binzel с эргономикой, как у настоящих горелок, использующихся при сварке, а также держатель с электродом для MMA-сварки (рисунок 7.1, з), который скользит внутри держателя, что позволяет имитировать процесс сгорания электрода.

Также для выполнения упражнений существует пять стандартных заготовок, имитирующих реальные детали, устанавливаемые под сварку, и опциональный держатель для них.

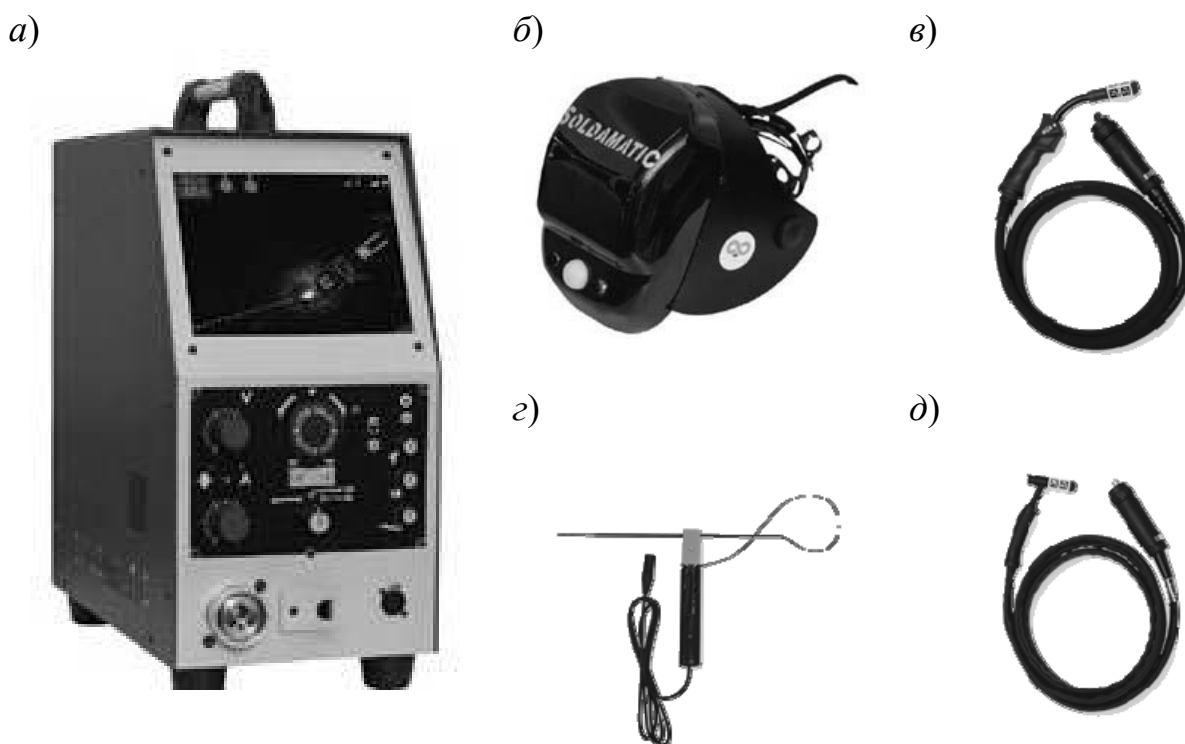


Рисунок 7.1 – Оборудование, входящее в состав установки Soldamatic

В тренажере используется программное обеспечение как для моделирования процесса, так и для его анализа и записи статистики, что является очень полезным инструментом для преподавателя.



## **7.2 Оборудование, приборы и материалы**

7.2.1 Установка для моделирования техники выполнения сварки с дополнительной 3D-реальностью Soldamatic.

7.2.2 Комплект моделей сварных соединений.

7.2.3 Техническая документация.

## **7.3 Порядок проведения работы**

7.3.1 Ознакомиться с работой установки.

7.3.2 Произвести настройку установки на выполнение сварных соединений в режиме ручной дуговой сварки. Выполнить сварку. Оценить допущенные ошибки. Повторить сварку с учетом корректирующих действий отслеживающей системы установки.

7.3.3 Произвести настройку установки на выполнение сварных соединений в режиме дуговой сварки в среде защитных газов. Выполнить сварку. Оценить допущенные ошибки. Повторить сварку с учетом корректирующих действий отслеживающей системы установки.

## **7.4 Содержание отчета**

7.4.1 Название и цель работы.

7.4.2 Краткое описание установки.

7.4.3 Выводы.

## **Контрольные вопросы**

1 Каково основное назначение установки?

2 Преимущества и недостатки обучающего модуля установки.

3 Область применения установки.

# **8 Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ**

Организация лабораторных экспериментов должна проводиться в соответствии с ССБТ ГОСТ 12.4.113–82 *Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности.*

При проведении лабораторных экспериментов должно быть устранено или доведено до безопасных значений величин действие опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003–74.

Все производимые в лаборатории работы должны быть организованы так, чтобы полностью исключить образование взрывоопасных концентраций газо-, паро- и пылевоздушных смесей в объеме всего помещения и в отдельных рабочих зонах.

Оборудование, применяемое в учебных лабораториях, должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003–74 и ГОСТ 12.2.049–80.

Температура поверхности оборудования и технологических трубопроводов, к которым возможны прикосновения людей при проведении лабораторных экспериментов, не должна превышать 45 °С. Системы вентиляции и отопления в лабораторном помещении должны обеспечивать параметры микроклимата в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005–76.

Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны лаборатории не должна превышать значений, указанных в ГОСТ 12.1.005–76.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в децибелах на рабочих местах в лаборатории должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.003–76, относящимся к помещениям лабораторий для проведения экспериментальных работ.

Предельно допустимые напряжённость электрической и магнитной составляющих и плотность тока энергии электромагнитного поля радиочастот на рабочих местах в лаборатории должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.012–78.

Допустимый уровень вибрации на рабочих местах в лаборатории должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.012–78. Защитные системы (зануление, защитное заземление, защитное отключение, выравнивание потенциала, двойная изоляция, малое напряжение) и мероприятия по защите от поражения электрическим током в лабораториях должны обеспечивать напряжение прикосновения не выше 42 В – в помещениях без повышенной опасности и с повышенной опасностью, 12 В – в особо опасных помещениях.

Питание лабораторного электрооборудования должно осуществляться от сети напряжением не более 380 В при частоте 50 Гц. В электроустановках должны быть предусмотрены разделительный трансформатор и защитно-отключающее устройство.

Сопротивление изоляции, токоведущих частей электроустановок до первого аппарата максимальной токовой защиты должно быть не менее 0,5 МОм, а сопротивление между заземляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью изделия, которая может оказаться под напряжением, – не более 0,1 Ом.

#### **Требования к размещению оборудования и рабочих мест.**

Размещение оборудования в помещении лаборатории должно обеспечивать удобство выполнения всех видов исследований и работ.

Планировка помещения лаборатории должна обеспечивать освещение рабочих мест исследователей естественным светом.

Размещение средств отображения информации должно обеспечивать свободное восприятие общей сигнальной информации в интерьере лаборатории.

Геометрические размеры зоны досягаемости моторного поля на рабочих местах в лаборатории определяются требованиями ГОСТ 12.2.032–78 (для положения сидя) и ГОСТ 12.2.033–78 (для положения стоя).

Геометрические размеры оптимальной зоны информационного поля для размещения общих средств отображения информации в лаборатории должны быть: площадь зоны – 4,5 м<sup>2</sup>; высота верхней границы зоны от пола – 2,5 м; ширина зоны – 3,0 м; высота нижней границы зоны от пола – 1,0 м.

## **9 Действия на случай возникновения загорания, пожара**

Каждый обнаруживший пожар или загорание обязан:

- немедленно обесточить помещение;
- немедленно сообщить о пожаре по телефону 101;
- немедленно сообщить о пожаре администрации;
- приступить к тушению очага пожара имеющимися на рабочем месте средствами пожаротушения (огнетушитель, кошма, песок, пожарный кран и т. д.);
- при тушении электроустановок огнетушителями не подходить ближе 1 м до очага горения;
- при применении углекислотных огнетушителей не братья голый рукой за раструб;
- тушение вертикальных конструкций производить сверху вниз.

Студент, находящийся в лаборатории, при получении сообщения об эвакуации обязан:

- немедленно прекратить занятие;
- быстро и без паники в сопровождении преподавателя, проводящего занятие, покинуть здание в безопасное место, пройти перекличку у данного преподавателя и ждать последующих указаний;
- сохранять выдержку и хладнокровие, не допускать паники.

Студент, оставшийся во время пожара в лаборатории, обязан:

- прежде чем открыть дверь лаборатории, потрогать ее руками. Если она нагрелась, не открывать ее, иначе огонь проникнет в помещение;
- при возможности покинуть помещение через окно; оказавшись на верхнем этаже, заткнуть щели подручными средствами, чтобы дым не проникнул в помещение лаборатории;
- сообщить о своем местонахождении (по телефону или привлекая внимание с помощью рук и криков о помощи).

## **10 Действия на случай других аварийных ситуаций**

При возникновении в рабочей зоне проведения лабораторной работы опасных условий труда (появление запаха гари и дыма, повышенное тепловыделение от оборудования, повышенный уровень шума при его работе, неисправность заземления, загорание материалов и оборудования, прекращение подачи электроэнергии, появление запаха газа и т. п.) необходимо немедленно прекратить работу, выключить оборудование, сообщить о происшествии преподавателю.

При несчастном случае необходимо быстро принять меры по предотвращению воздействия травмирующих факторов на потерпевшего, оказанию первой помощи пострадавшему, вызову на место происшествия медицинских работников или доставке потерпевшего в организацию здравоохранения. Сообщить о происшествии ответственному лицу за безопасное производство работ, обеспечить до начала расследования сохранность обстановки, если это не представляет опасности для жизни и здоровья людей.

При поражении электрическим током необходимо освободить пострадавшего от действия тока (выключить рубильник, перерубить провод, оттянуть или отбросить его сухой палкой, шестом). Не прикасаться к пострадавшему, пока он находится под действием тока. Доврачебную помощь оказывать сразу после прекращения воздействия электрического тока. Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, то немедленно приступить к массажу сердца и искусственному дыханию до прибытия врача. Одновременно с этим применяется нашатырный спирт, растирание и согревание.

### **Список литературы**

1. **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением и термической резки: учебное пособие / В. П. Куликов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 388 с.: ил.