



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного
производства»

РЕМОНТ КОНСТРУКЦИЙ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ И НАПЛАВКОЙ



Авторы
В.Ф.Лукиянов, Ю.Г. Людмирский,
Н.Г.Дюргеров

Ростов-на-Дону, 2012



Аннотация

В учебном пособии излагаются основные принципы и особенности выполнения ремонтных работ применительно к конструкциям и деталям машин.

Рассмотрены основные виды повреждений и дефектов, а также причины их образования. Изложены технологические основы ремонта и применения сварки и наплавки для этих целей. Основное внимание при этом уделено ремонту трубопроводного транспорта.

Данное учебное пособие является третьей завершающей частью блока дисциплин, посвящённых расчёту, производству, монтажу и ремонту сварных конструкций.

Будет полезно студентам специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства» и специалистам, занимающимся ремонтом и реконструкцией объектов с использованием сварочных и наплавочных работ.

Авторы:

д.т.н., проф. Лукьянов Виталий Федорович,
д.т.н., проф. Людмирский Юрий Георгиевич,
Дюргеров Никита Георгиевич





Оглавление

Предисловие	6
1. Виды дефектов и требования к качеству сварных соединений при производстве сварных конструкций.....	10
2. В2. Виды повреждений сварных конструкций и деталей в процессе эксплуатации	22
2.1. Основные виды повреждений сварных конструкций	22
2.2. Повреждения основного металла	23
2.3. Повреждения из-за дефектов, возникших	26
при изготовлении и монтаже сварной конструкции	26
2.4. Повреждения в результате внешних механических воздействий	32
2.5. Повреждения поверхностей конструкции и/или деталей.....	32
3. Технологические основы ремонта с применением сварки.....	40
3.1. Способы ремонта	40
3.2. Защита ремонтируемого участка от атмосферного воздействия и его очистка	45
3.3. Выявление границ поврежденного участка	46
3.4. Подогрев ремонтируемого участка перед сваркой.....	51
3.5. Регулирование полей собственных напряжений при ремонте.....	53
3.6. Рекомендации по выполнению сварки при ремонте.	58
3.7. Сварка обратноступенчатым методом	59
3.8. Создание буферных слоев	63
4. Ремонт дефектных участков сварных швов в процессе производства сварных конструкций.....	66
4.1. Подготовка к ремонту дефектных участков сварных соединений	66
4.2. Ремонт поверхностных дефектов в облицовочном слое шва без удаления металла.....	67



Машины и автоматизация сварочного производства

4.3. Ремонт дефектов сварных соединений с частичной выборкой (удалением) металла шва	69
4.4. Ремонт сквозных дефектов сваркой	73
4.5. Ремонт кольцевых соединений трубопроводов при монтаже	77
5. Ремонт конструкций с заменой поврежденного участка	81
.....	81
5.1. Подготовка конструкции	81
с поврежденными участками к сварке	81
5.2. Рекомендации по сварке	84
5.3. Предотвращение появления трещин в швах	88
при замене поврежденной части конструкции вставками	88
5.4. Ремонт с заменой поврежденной части конструкции вставками при затрудненном доступе к поверхности изнутри	95
5.5. Технология ремонта повреждённых штуцерных соединений	102
5.6. Пример технологии ремонта сосуда с заменой штуцера	105
6. Ремонт дефектов магистральных трубопроводов с применением ремонтных конструкций	108
6.1 Общие принципы установки ремонтных конструкций	108
6.2. Конструкция муфт, рекомендованная нормативными документами для ремонта нефтепроводов [24]	116
6.3. Рекомендации по установке муфт	126
при ремонте нефтепроводов	126
6.4. Конструкция муфт, рекомендованная нормативными документами для ремонта газопроводов	132
7. Ремонт поврежденных поверхностей сварных конструкций и деталей наплавкой	137
7.1. Ремонт с применением дуговой наплавки	137
7.2. Ремонт поверхностей, поврежденных коррозией ...	142
7.3. Ремонт с применением автоматической наплавки..	146
7.4. Наплавочные материалы, применяемые при ремонте	159



7.5. Ремонт методом дополнительных деталей.....	179
8. Ремонт металлических конструкций морских буровых и нефтедобывающих платформ	187
8.1. Технология очистки поврежденного участка.....	189
перед сваркой	189
8.2. Резка под водой.....	190
8.3. Технологии сварки под водой	192
8.3.1. Сварка «мокрым» способом	193
8.3.2. Сварка «сухим» способом	196
8.4. Ремонт опоры морской буровой платформы	197
Заключение	203
Литература.....	205
Приложение.....	207



ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы во многих ключевых отраслях России: транспортной, топливно-энергетической, аграрно-промышленной, нефтегазодобывающей и др. заметно увеличился износ основных производственных фондов. Так, например, значительная часть нефтегазовых сооружений выработала свой плановый ресурс (33 года) на 60-70 %. Ориентировочно более 5% газопроводов, 25 % нефтепроводов и 50 % резервуарного парка полностью исчерпали свой плановый ресурс [1].

Изношенная техника приводит к увеличению числа аварий с тяжелыми экологическими последствиями, к длительным простоям оборудования, увеличению цены той продукции, которая должна была быть произведена этой техникой.

В условиях старения и износа металлических конструкций возрастает потребность ремонта и восстановления работоспособности деталей с применением сварочных технологий.

Выход из строя сварных конструкций и деталей машин обусловлен конструктивными, технологическими и эксплуатационными факторами.

Целью ремонта конструкций и восстановления деталей машин является достижение ими функциональных свойств и показателей ресурса. Функциональные свойства определяют работоспособность конструкций и деталей, а ресурсные показатели – полноту восстановления необходимого ресурса их работы.

Обобщёнными показателями качества восстановления деталей и сборочных единиц являются:

- прочность, в том числе статическая и циклическая;
- износостойкость;
- показатели, характеризующие работу в особых условиях (коррозионная, кавитационная стойкость, жаростойкость и т. д.).

Ниже приведены те цели, достижение которых обуславливает необходимость ремонта конструкций:

- восстановление целостности сварной конструкции;
- восстановление взаимного расположения, формы и размеров элементов;
- обеспечение заданной точности линейных и угловых размеров;
- обеспечение прочности при статических и циклических нагрузках;



Машины и автоматизация сварочного производства

- увеличение жёсткости упругих элементов;
- восстановление состояния рабочих поверхностей;
- восстановление фрикционных характеристик и износостойкости;
- обеспечение коррозионной, эрозионной и кавитационной стойкости.

Возможны и другие, специфические, цели ремонта, связанные с изменившимися условиями работы конструкции.

Специфика ремонтного производства состоит в том, что при выполнении ремонта мы имеем дело с уже созданными конструкциями. Это накладывает ограничения на применяемые способы сварки и сварочные материалы. Положение сварного соединения в пространстве ограничивает доступность мест сварки. В некоторых случаях ограничиваются возможности подогрева металла при сварке и последующей термической обработки сварного соединения. Сварной шов, как правило, находится в жестком окружении участков конструкции, что способствует появлению более высокого уровня остаточных напряжений. При ремонте часто приходится выполнять сварку в неблагоприятных внешних условиях. Все это приводит к необходимости разработки специальных технических решений в каждом конкретном случае.

Основная цель данного учебного пособия состоит в том, чтобы рассмотреть проблемы выполнения сварочных технологий при ремонте и систематизировать типовые решения и рекомендации по применению сварки, родственных процессов и технологий в зависимости от типа конструкции и характера ее повреждения.

Ниже рассмотрены особенности применения ремонта на стадии изготовления, монтажа и эксплуатации конструкции.

На стадии *изготовления* конструкции ремонт применяют с целью устранения дефектов, возникающих в результате нарушения технологии сварки. В данном случае речь обычно идет о ремонте сварного шва.

При *монтаже* ремонт применяют не только для устранения дефектов в шве, но также для восстановления размеров и формы отдельных частей (участков) конструкции при нарушении технологии сборки или небрежного выполнения вспомогательных операций.

На стадии *эксплуатации* конструкции необходимость ремонта наиболее часто обусловлена накоплением коррозионных повреждений, зарождением и развитием усталостных трещин, износом поверх-



ностей деталей в результате трения, а также нарушением условий эксплуатации, приводящим к преждевременному разрушению.

Технологический процесс ремонта помимо сварочных операций должен включать операции, связанные с подготовкой ремонтируемых участков конструкции, например, механическую обработку для удаления поврежденного металла, создание плавных переходов на ремонтируемых участках, сборку, предварительный подогрев участков конструкции и др.

При разработке конкретной технологии ремонта рекомендуется дополнительно руководствоваться нормативной, технической и справочной литературой применительно к различным отраслям промышленности и транспорта с учётом специфики ремонтируемых объектов из различных материалов.

Например, выполнение ремонта с применением дуговой сварки сопряжено с повторным нагревом металла, что может приводить к нежелательным изменениям его механических характеристик. Потому допустимое количество повторных ремонтов на одном участке строго регламентируется.

В большинстве случаев разработку технологии выполняют под конкретное назначение, поскольку она существенно зависит от вида повреждения и типа конструкции. Вместе с тем существуют общие и основные принципы выполнения ремонта с применением сварки, позволяющие добиться наибольшей эффективности в каждом конкретном случае.

В данном учебном пособии излагаются основные принципы и особенности технологии выполнения ремонтных работ применительно к сварным конструкциям и деталям машин.

В учебном пособии рассматриваются:

- виды наружных и внутренних дефектов в сварных швах, возникающих при сварке;
- виды повреждений сварных конструкций и деталей машин в процессе эксплуатации;
- основные принципы разработки технологии выполнения сварочных работ при ремонте конструкций;
- ремонт поврежденных участков наплавкой и восстановление изношенных поверхностей;
- ремонт повреждённых участков с заменой части конструкции;
- ремонт методом дополнительных деталей;
- примеры ремонта восстановления типичных повреждений сварных конструкций;



Машины и автоматизация сварочного производства

- особенности ремонта сварных конструкций в неблагоприятных условиях;
- аттестация ремонтных технологий и необходимая документация.

В учебном пособии использованы материалы исследований, ряд положений из учебников, научно-технических изданий, отечественных и международных нормативных документов.

В данном пособии приводятся результаты фундаментальных исследований Г.А. Николаева, В.А. Винокурова, С.А. Куркина, В.М. Сагалевича, В.П. Вологодина, Н.О. Окерблома, О.И. Стеклова, С.Н. Киселёва, Н.М. Крайчика, Э.Л. Макарова, О.А. Емельянова, Е.Л. Воловика, В.А. Шадричева, Н.В. Молодык, В.И. Черноиванова, Э.С. Каракозова, В.П. Лялякина, касающиеся теоретических основ формирования напряженного состояния в зоне сварки.

В имеющихся учебных и научно-технических публикациях практически отсутствует систематизация вопросов, касающихся ремонта и восстановления конструкций сваркой. Данное пособие должно восполнить этот пробел. Учебное пособие «Ремонт конструкций и восстановление деталей сваркой и наплавкой» является третьей частью пособия «Изготовление, монтаж и ремонт сварных конструкций».



1. ВИДЫ ДЕФЕКТОВ И ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Под качеством продукции понимается совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые требования потребителя. Для сварных соединений показателями качества служат такие свойства, как прочность, безотказность, долговечность, надёжность, ремонтпригодность и другие специальные требования. Наибольшее влияние на работоспособность конструкции оказывают дефекты сварных соединений. В связи с этим устанавливаются нормы в отношении допустимых размеров дефектов, их вида и количества. Нормируется также допустимое число исправлений дефектов на одном и том же участке шва.

Дефекты при сварке металлов плавлением образуются вследствие нарушения требований нормативных документов к сварочным материалам, подготовке, сборке и сварке соединяемых элементов, термической и механической обработке сварных соединений и конструкции в целом.

Согласно данным Американского общества инженеров-механиков (ASME), в 41% случаев причиной появления дефектов являются плохие условия для проведения сварки, 32% случаев связано с низкой квалификацией сварщиков, 12% - с плохим сварочным оборудованием, 10% - с некачественными сварочными материалами и 5% - с плохой подготовкой кромок под сварку¹.

Понятие «дефект сварного соединения» принято отождествлять с присутствием в сварном шве или в околошовной зоне несплошностей или с отклонением геометрических параметров сварного соединения от номинальных, размеры которых превышают допустимые значения, установленные стандартами, нормативными или конструкторскими документами либо договором между заказчиком и исполнителем.

В сварочном производстве часто используют менее строгое определение – понятие «дефект» распространяют на любые несплошности или отклонения геометрических параметров сварного соединения от номинальных. В связи с такой расширенной трактовкой потребовалось разделять дефекты на допустимые, которые соответствуют требованиям нормативно-технической документации (НТД) и

¹ ASME engineer's data book, ASME Press, Matthews, Clifford - 2001, p. 211, ISBN 9780791801550



недопустимые, которые по каким-либо параметрам превышают установленным нормы.

Если в процессе изготовления конструкции выявляются недопустимые дефекты в сварных соединениях (несоответствующие установленным нормам), то назначают ремонт с целью перевести продукцию из разряда несоответствующей установленным требованиям в разряд соответствующей, т.е. качественной.

Ремонт сварной конструкции – процесс устранения в сварных соединениях недопустимых нормативной документацией дефектов после завершения сварки и контроля.

Согласно ГОСТ 30242-97 рассматриваются следующие дефекты сварных швов.

1. Трещина сварного соединения - дефект в виде разрыва в сварном шве и/или прилегающих к нему зонах.

Поперечная трещина сварного соединения – трещина, ориентированная поперёк оси сварного шва.

Продольная трещина сварного соединения – трещина, ориентированная вдоль оси сварного шва.

Разветвлённая трещина сварного соединения – трещина, имеющая ответвления в различных направлениях.

2. Микротрещина сварного соединения – трещина, обнаруженная при пятидесятикратном и более увеличении.

3. Непровар - дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва.

4. Подрез - дефект в виде углубления по линии сплавления сварного шва с основным металлом.

5. Прожог сварного шва - дефект в виде сквозного отверстия в сварном шве, образовавшийся в результате вытекания части металла сварочной ванны.

6. Кратер - углубление, образовавшееся в конце валика под действием давления дуги и объёмной усадки металла шва.

7. Шлаковое включение сварного шва - дефект в виде вкрапления шлака в сварном шве.

8. Свищ в сварном шве - дефект в виде воронкообразного углубления в сварном шве.

9. Пора в сварном шве - дефект сварного шва в виде полости округлой формы, заполненной газом.



Машины и автоматизация сварочного производства

Цепочка пор в сварном шве - группа пор в сварном шве, расположенная в линию на расстоянии между ними не более $3d$, где d – наибольший размер поры.

10. Вольфрамовые включения – дефект в виде вкрапления вольфрама в металл шва.

11. Наплывы - дефекты в виде натекания металла шва на поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним.

12. Смещение свариваемых кромок - дефект в виде несовпадения кромок по высоте из-за некачественной сборки стыкового соединения.

13. Превышение проплава.

14. Неравномерная форма шва – нестабильные размеры шва (величина катета, ширина или усиление сварного шва) по длине.

15. Неплавное сопряжение сварного шва с основным металлом - дефект в виде резкого перехода поверхности сварного шва к основному металлу.

16. Брызги металла - дефект в виде затвердевших капель на поверхности сварного соединения.

17. Ожог – дефект, образовавшийся в результате случайного кратковременного касания электродом поверхности основного металла либо возникший из-за попадания крупной капли на поверхность конструкции.

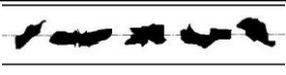
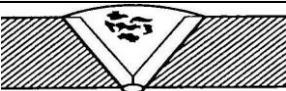
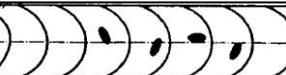
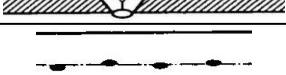
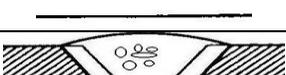
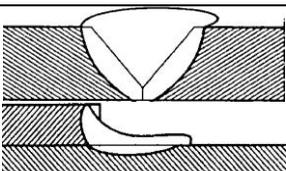
Наименование дефектов сварных швов, их внешний вид и возможные причины возникновения представлены в табл.1.1.

Таблица 1.1

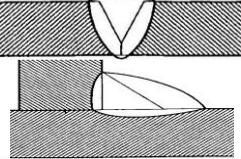
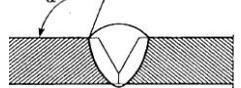
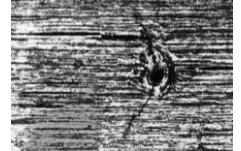
Наименование дефекта, его изображение и возможные причины возникновения [2]

Наименование дефекта		Изображение дефекта	Основные причины возникновения дефекта
1		2	3
1. Трещина	1.1. Продольная		Высокая скорость охлаждения при сварке; высокий уровень напряжений при сварке в жёстко закреплённых конструкциях; высокое эквивалентное содержание углерода; насыщение металла шва водородом (холодные трещины); повышенное содержание серы, фосфора (горячие трещины)
	1.2. Поперечная		
	1.3. Разветвлённая		
2. Непровар	2.1. Корня шва		Малый зазор в стыке; большая величина притупления кромок; недостаточная величина сварочного тока; большой диаметр электрода; смещение электрода от оси шва
	2.2. Кромки		
3. Несплавление межваликовое			Плохая зачистка отдельных слоев, нарушение технологии ведения процесса сварки
4. Подрез			Большой сварочный ток; длинная дуга, большая скорость сварки; смещение электрода на вертикальную стенку при сварке угловых швов
5. Прожоги			Большой ток при малой скорости сварки; большой зазор между кромками; неплотное прилегание формирующей подкладки
6. Кратер			Резкий обрыв дуги; неправильная техника выполнения конечного участка шва

Продолжение табл.1.1

1		2	3
7. Шлаковое включение	7.1. Отдельное		Малый сварочный ток; большая скорость сварки. Некачественная зачистка при многослойной сварке; низкое качество сварочных электродов
	7.2. Цепочка *		
	7.3. Скопление		
8. Свищи			Высокая скорость охлаждения; нарушение защиты шва, высокая влажность окружающей среды
9. Пора	9.1. Сферическая		Быстрое охлаждение шва; загрязнение кромок; непрокаленные электроды; высокая скорость сварки; нарушение защиты сварочной ванны; высокая влажность окружающей среды
	9.2. Удлиненная		
	9.3. Цепочка *		
	9.4 Скопление		
10. Вольфрамовые включения			Большой сварочный ток; касание электродом металла шва; низкое качество электрода
11. Наплыв			Нарушение техники сварки (неправильный наклон электрода относительно изделия)
12. Смещение кромок			Некачественная сборка сварного соединения; плохое закрепление деталей при сварке

Окончание табл.1.1

1	2	3
13. Превышение проплава **		Большой сварочный ток; малая скорость сварки; большой зазор в соединении
14. Неравномерная форма шва ** (нестабильные размеры шва по длине)		Нестабильный режим сварки, неточное направление электрода в место стыка; низкая квалификация сварщика
15. Неплавное сопряжение сварного шва с основным металлом		Низкое напряжение горения дуги; недостаточная подготовка кромок; нарушение техники сварки
16. Брызги металла на поверхности изделия		Плохое качество электродных материалов; нарушение техники и режимов сварки
17. Ожог поверхности основного металла		Случайное касание электродом поверхности основного металла либо приварка крупных капель; возбуждение дуги на основном металле; неплотное крепление провода заземления

Примечания: * - показан продольный разрез сварного шва;

** - тонкими линиями показана правильная геометрия сварного шва.

В международной практике классификация видов дефектов сварных соединений и их описание определены стандартом ISO 6520-1:2007². Дефекты сварных швов обычно разделяют на наружные и внутренние.

Наружные дефекты сварки - это дефекты, выходящие на поверхность сварных соединений. К таким дефектам также относятся дефекты формы и размеров сварных швов. Форма и размеры сварных швов устанавливаются стандартами, нормами, техническими условиями, различными отраслевыми руководящими документами, указаниями на чертежах. Так, основные типы швов сварных соединений и их конструктивные элементы при ручной электродуговой сварке регламентированы ГОСТ 5264-80; при автоматической и механизированной сварке под флюсом – ГОСТ 8713-79; при сварке плавящимся электродом в среде активных газов и смесях – ГОСТ 14771-76, при сварке труб – ГОСТ 16037-80 и другими документами. При сварке плавлением наиболее частыми дефектами сварных соединений являются неравномерная ширина и высота валика.

² ISO 6520-1:2007 – Welding and allied processes. Classification of geometric imperfections in metallic materials. Fusion welding.



При ручной, механизированной и даже при автоматической сварке наружные дефекты могут быть вызваны неправильной подготовкой кромок, недостаточной квалификацией сварщика, нарушением технологических приёмов, плохим качеством электродов и других сварочных материалов, неисправностью оборудования. В табл.1.1 показаны наружные дефекты: 2.1, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16 и указаны основные причины их возникновения. Наружные дефекты выявляют внешним осмотром, иногда с использованием 4-7-кратной лупы, и измерениями.

Методика проведения визуально-измерительного контроля подробно описана в РД 03-606-03³. Поверхностные дефекты сварных швов легко обнаружить и устранить. Неполномерность сварных швов устраняют наплавкой дополнительных слоёв. Подрезы, после зачистки дефектного участка, заваривают тонкими валиковыми швами. Напльвы, чрезмерное усиление шва, превышение проплава, неравномерную форму шва, неплавное сопряжение сварного шва с основным материалом (лишний металл в сечении шва) и брызги на поверхности конструкций удаляют механической обработкой абразивным инструментом или пневматическим зубилом. В некоторых случаях, при наличии таких дефектов, как прожог, кратер или смещение кромок, выполняют требуемую разделку кромок, дополнительную наплавку в указанных местах и зачистку абразивным инструментом.

Внутренние дефекты, представленные в табл.1.1, имеют следующие номера 1.1, 1.2, 1.3, 2.2, 3, 7.1, 7.2, 7.3, 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 10. В этой же таблице представлены основные причины появления названных дефектов. Для определения внутренних дефектов применяют, как правило, неразрушающие методы контроля.

Некоторые дефекты могут быть как наружными, так и внутренними, например, трещины всех видов (1.1, 1.2, 1.3), несплавление между валиками (3), шлаковые включения (7.1, 7.2, 7.3) и т.д.

Наличие дефектов ещё не определяет потерю работоспособности конструкции. Их влияние зависит от большого числа конструктивных, эксплуатационных факторов, от типа, вида, размера дефекта, напряжённо-деформированного состояния металла вокруг рассматриваемого дефекта, от свойств материала. Поэтому в большинстве случаев допустимые размеры дефектов устанавливают стандарты (ГОСТ Р, EN, DIN, ISO и др.) и нормативные документы (РД, СНиП, ОСТ, СП и др.), которые регламентируют правила проектирования и изготовления определённого вида продукции.

³ В международной практике используют стандарт ISO 17637 – Non-destructive testing of welds – Visual testing of fusion-welded joints.



В качестве примера в табл.1.2 представлены допустимые размеры дефектов в сварных швах магистральных и промышленных трубопроводов.

Таблица 1.2

Допустимые размеры дефектов в сварных швах при строительстве и ремонте магистральных и промышленных трубопроводов [3]

Тип дефекта		По глубине	По длине	На уч. 300 мм
Поры	сферические	0,2S при расстоянии между дефектами > 5d		50 мм
	удлиненные			
	цепочки	0,1S	2S,	30 мм
	скопления		не более 30 мм	
канальные	Не допускаются			
Шлаковые включения	компактные	0,1S	0,5S; <7мм	50 мм
	удлиненные	Не допускаются		
	цепочки	0,1S	2S,	30 мм
	скопления		не более 15 мм	
Непровары, несплавления	в корне шва	0,05S; <1мм	2S; <30 мм	30 мм
	между валиками по разделке	Не допускаются		
	Трещины	Не допускаются		
Наружные дефекты	вдоль шва	Не допускаются		
	поперек шва			
	разветвлен.			
	утяжка	0,2S; <1мм	50 мм	1/6 периметра
Дефекты сборки	превышение проплава	3 мм	15 мм	50 мм
	подрез	0,05S; <0,5 мм	150 мм	150 мм
	смещение кромок	0,2S; <3 мм		

К сожалению, в российских нормативных документах, как правило, отсутствует дифференциация требований к качеству отдельных швов. В зарубежной практике давно наметился переход от документов, регламентирующих частные требования, к документам типа стандартов, определяющих единые требования к более широкой номенклатуре продукции сварочного производства (ISO 5817). В подобных стандартах устанавливаются предельные параметры несовершенств сварных соединений, допускаемые при изготовлении конструкций, в зависимости от конкретных требований к ним. Проектировщик назначает соответствующий класс или уровень требований к допустимости дефектов, руководствуясь назначением конструкции и экономической целесообразностью. Следует подчеркнуть, что на одном изделии для разных швов могут быть назначены разные группы качества. Международный стандарт ISO 5817 содержит значительно более полный перечень несовершенств (дефектов), которые могут встречаться в обычном производстве при изготовлении сварных конструкций. Предельные значения несовершенств представлены в приложении. Параметры (размеры) каждого из включённых в стандарт несовершенств разделены на три оценочные группы, образующие



три уровня качества (обычное качество - D; повышенное – C; высокое - B). Если размеры несовершенств выходят за назначенные предельные значения, то конструкция должна быть отремонтирована путём выборки дефектного участка и его заварки или наплавки.

Частота появления дефектов в сварных соединениях и преобладающий вид дефекта зависят от уровня технологической культуры предприятия, способа сварки, условий выполнения сварки, типа конструкции, толщины основного металла и др. Например, для строительных конструкций характерное распределение по видам дефектов показано на рис.1.1.

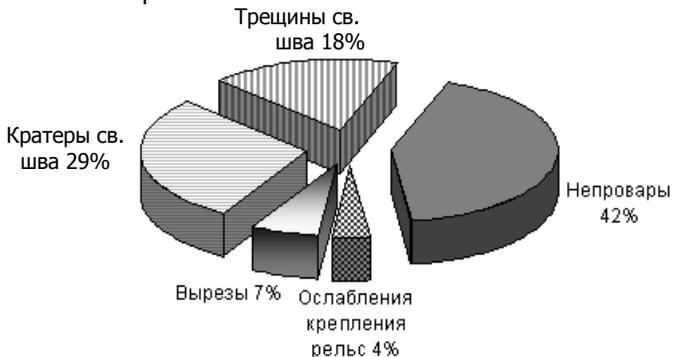


Рис.1.1. Относительная частота появления дефектов, выявляемых в металлоконструкциях кранов

Причины появления дефектов в сварных соединениях и технологические факторы, влияющие на вероятность появления дефектов, более подробно изложены в дисциплинах «Теория сварочных процессов» и «Основы технологии сварки плавлением и давлением».

Из рассмотренных несовершенств наиболее опасны трещины в основном металле и в сварном шве. Вероятность появления трещин при ремонте выше, чем при изготовлении конструкции. Именно по этой причине необходимо еще раз обсудить причины появления трещин при сварке и методы предотвращения их появления.

Трещины подразделяют: по происхождению - на холодные и горячие; по расположению относительно сварного шва – на поперечные и продольные (рис.1.2); по размерам - на макро- и микроскопические; по месту расположения – в сварных швах и в околошовной зоне. Трещины в сварных швах могут образоваться во время и после окончания сварки.

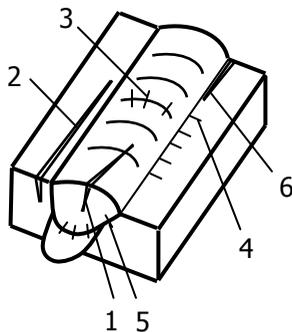


Рис.1.2. Трещины в сварном соединении: 1 и 2 – продольные в шве и околошовной зоне; 3-5 – поперечные трещины; 6 – трещина вдоль линии сплавления

Горячие трещины при сварке (рис.1.3) – это хрупкие межкристаллические разрушения металла шва и околошовной зоны, возникающие в твёрдожидком состоянии в процессе кристаллизации при высоких температурах [4].



Рис.1.3. Горячие трещины в сварном шве

Горячие трещины могут располагаться различным образом по отношению к шву. В изломе они имеют окисленную поверхность со следами цветов побежалости. Образование этих трещин определяется следующими основными факторами:

- продолжительностью периода кристаллизации (протяженностью температурного интервала хрупкости). Чем больше этот период, тем более вероятно образование горячих трещин;
- пластическими свойствами самого металла в интервале кристаллизации, зависящими от его состава;
- скоростью деформации шва при остывании. Чем больше скорость деформации, тем более вероятно образование трещин;
- жёсткостью конструкции (с ростом жёсткости конструкции также увеличивается вероятность образования горячих трещин).

Для предотвращения горячих трещин необходимо:



Машины и автоматизация сварочного производства

- снижать в температурном интервале хрупкости (ТИХ) темп деформации металла при сварке за счет конструктивных и технологических приемов (например, путем уменьшения жесткости конструкции в месте соединения, предотвращения взаимного перемещения деталей при сварке и др.);

- применять сварочные материалы, режимы и приёмы сварки, обеспечивающие сварному соединению высокие показатели технологической прочности (например, уменьшение в металле шва содержания серы, фосфора и других элементов, образующих легкоплавкие эвтектики);

- выполнять сварку в режимах, способствующих благоприятной схеме кристаллизации;

- применять обратноступенчатый метод сварки и его разновидности (метод сварки горкой, каскадный и др.), способствующие уменьшению сварочных напряжений и повышению технологической прочности.

Холодные трещины (рис.1.4) – это локальные разрушения металла сварных соединений, которые возникают при температурах ниже температур образования мартенсита (чаще ниже температур 100-300°С) после полного остывания, а иногда в течение некоторого периода после сварки. Образованию холодных трещин способствует высокое эквивалентное содержание углерода в основном и наплавленном металле, повышенное содержание водорода и высокий уровень сварочных напряжений [4, 5].

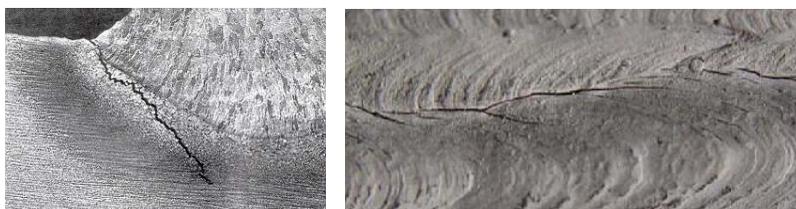


Рис.1.4 Холодные трещины



Основные причины возникновения холодных трещин: наличие после сварки закалочных структур (мартенситного, бейнитного типов); наличие растягивающих сварочных напряжений первого рода; повышенное содержание водорода в металле и его скопления в отдельных зонах сварного соединения [5].

Большое влияние на образование холодных трещин оказывает форма сварных конструкций и жесткость закрепления сварного соединения в процессе сварки. Чем больше жесткость закреплений, тем более вероятно образование холодных трещин.

Способы повышения сопротивления сталей образованию холодных трещин:

- регулирование структуры металла сварного соединения тепловым воздействием за счет повышения погонной энергии, предварительного или сопутствующего подогрева, последующего отпуска сварной конструкции в первые часы после сварки;

- снижение содержания водорода в наплавленном металле (прокалка электродов, зачистка кромок, хорошая защита металла шва от воздействия атмосферы во время сварки);

- снижение уровня растягивающих сварочных напряжений за счет уменьшения жесткости закрепления деталей при сварке или путем термообработки в ближайшие часы после сварки.



2. ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

2.1. Основные виды повреждений сварных конструкций

В разделе 1 были рассмотрены дефекты, появление которых обусловлено нарушением технологии при выполнении сварных соединений. Обычно ремонт таких дефектных участков шва сводится к удалению металла шва и околошовной зоны, содержащих дефекты, с последующим повторным наложением сварных швов.

Сварные конструкции работают в самых разнообразных условиях и в процессе эксплуатации (иногда, в процессе монтажа) получают значительно более разнообразные повреждения. Неисправности конструкций или отдельных деталей в лучшем случае, приводят к простоям оборудования, увеличению цены выпускаемой продукции, а в худшем случае – к увеличению числа аварий, экологической опасности.

Разрушение конструкций является не только нарушением технологии изготовления, но также может быть следствием ошибок, допущенных при проектировании, нарушением условий эксплуатации и др. На рис.2.1 показана круговая диаграмма причин разрушения строительных конструкций.

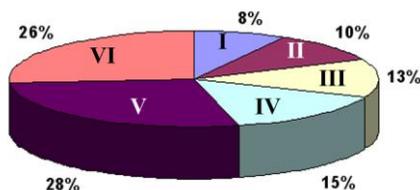


Рис.2.1. Относительная частота причин разрушения строительных конструкций: I - несоответствие НТД реальным условиям эксплуатации конструкции; II – ошибки проектных решений; III – низкое качество изготовления конструкций; IV – низкое качество материалов конструкции; V – дефекты на стадии строительства; VI – нарушение правил эксплуатации



Рис.2.2. Классификация повреждений сварных конструкций

Виды повреждений сварных конструкций и типичные причины их образования при эксплуатации весьма разнообразны, их классификация схематично представлена в виде таблицы на рис.2.2.

2.2. Повреждения основного металла

Дефекты основного металла бывают как наружными, так и внутренними. К наиболее распространённым наружным дефектам следует отнести риски, закаты, окалину, коррозионные повреждения на поверхности проката. К внутренним дефектам относятся расслоения, неметаллические включения, наличие и ликвация вредных примесей. Иногда не выявленные в процессе металлургического производства дефекты металла проявляются в процессе эксплуатации готовых конструкций. Большое количество трещин при повторно-статических нагрузках возникает на основном металле (рис.2.3), если после прокатки его поверхность не очищалась от окалины. Объясняется это тем, что циклические напряжения вызывают быстрое нарушение хрупкого слоя окалины. Это способствует интенсивному разви-

тию коррозионных и усталостных процессов и, как следствие, появлению и быстрому развитию сетки трещин.

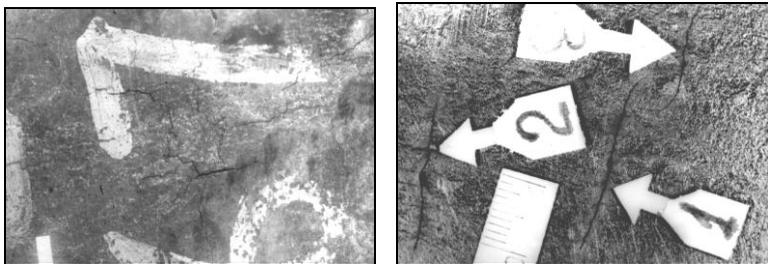


Рис.2.3. Трещины на поверхности листового проката, покрытого слоем окалины

На рис.2.4 видны трещины, возникшие на основном металле, поражённом коррозионными изъязвлениями.

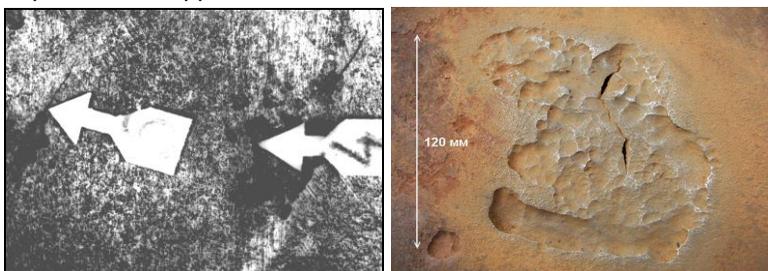


Рис.2.4. Трещины, возникшие от мест коррозионных изъязвлений

Удаление слоя окалины чаще всего осуществляется зачисткой поверхности листов абразивным инструментом. Эта операция, как правило, приводит к повышению усталостной прочности листового проката. Однако следует отметить, что зачистка поверхности листового проката абразивным инструментом от коррозионных изъязвлений, окалины и других поверхностных дефектов не всегда приводит к увеличению коррозионно-усталостных свойств металла. Если эту операцию выполнять крупнозернистым абразивным инструментом и прижимать его с большим усилием, то на поверхности листового металла возникают острые глубокие риски, являющиеся концентраторами напряжений, при этом на поверхности металла в результате нагрева возникают остаточные напряжения растяжения. Возникновение разрушения от механических концентраторов (рисок) показано на рис.2.5. Видно, что направление зачистки поверхности листов зачастую определяет направление распространения усталостных трещин.

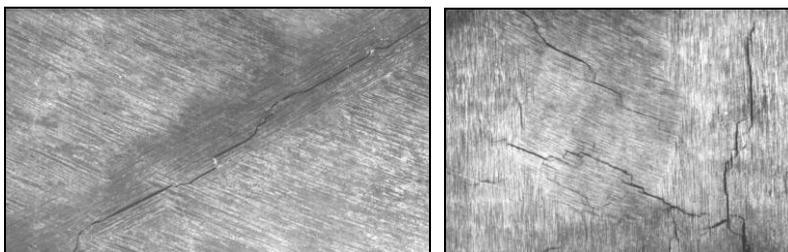


Рис.2.5. Возникновение разрушения от следов механической обработки

К скрытым дефектам основного металла относятся: расслоения (рис.2.6), закаты, неметаллические включения, ликвация вредных примесей (рис.2.7). Эти дефекты могут встречаться как в сварных конструкциях, так и в деталях машин.

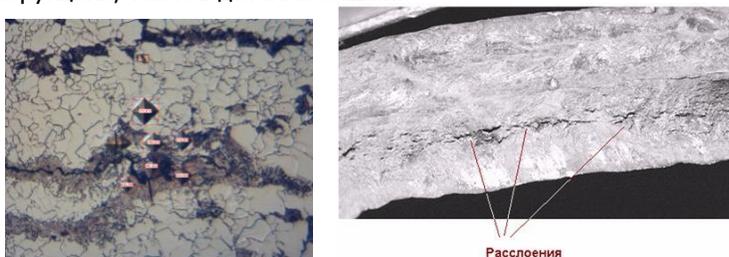


Рис.2.6. Расслоения основного металла трубы

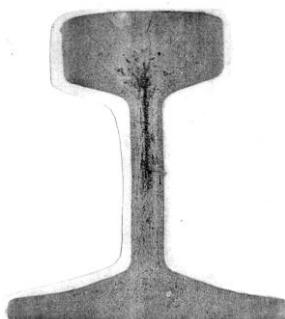


Рис.2.7. Ликвация вредных примесей (в данном случае серы)

Существует мнение, что расслоение металла не уменьшает площади поперечного сечения, например трубы, нагружаемой внутренним давлением, а поэтому не должно сказываться на её конструктивной прочности. Однако это далеко не так, о чем свидетельствует анализ разрушений трубопроводного транспорта. Расслоения способны постепенно развиваться, разворачиваться в направлении, перпендикулярном стенке трубы, выходить на внутреннюю или наружную поверхность, что неизбежно приводит к преждевременным и очень опасным аварийным разрушениям.

2.3. Повреждения из-за дефектов, возникших при изготовлении и монтаже сварной конструкции

Несмотря на значительные успехи существующих методов неразрушающего контроля, встречаются случаи, когда в эксплуатацию поступают конструкции, содержащие дефекты в сварных соединениях (рис.2.8). В период эксплуатации они могут увеличиваться в размерах, например, в результате действия переменных нагрузок, и приводить к разрушению.



Рис.2.8. Дефекты в шве, не выявленные на стадии изготовления (в стенке трубы и в стыке рельса, выполненного термитной сваркой)

К разрушению на стадии эксплуатации могут приводить неблагоприятные изменения структуры в шве и зоне термического влияния. Обычно наиболее неблагоприятная структура возникает на участке перегрева металла – крупнозернистая и видманшtedтова структура (рис.2.9), вызывающая снижение пластичности и ударной вязкости.

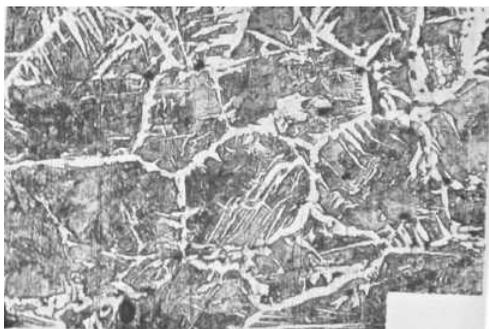


Рис.2.9. Видманшtedтова структура



Уменьшение пластичности стали может быть вызвано деформацией металла при температуре 100-350°C (динамическое деформационное старение), холодной деформацией при комнатной температуре и последующим нагревом до температуры 100-350°C (искусственное старение), а также деформацией в холодном состоянии. Например, деформационное старение, вызванное сварочными деформациями, часто способствует возникновению трещин в сварных узлах ферм (рис.2.10).

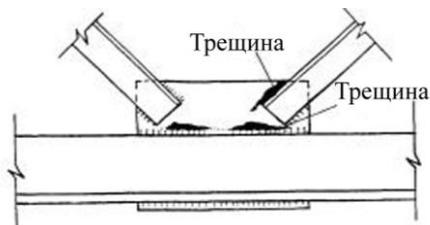


Рис.2.10. Трещины в местах деформационного старения

Особенно резко падает пластичность вблизи концентраторов напряжений, где накопление деформаций максимальное. Поэтому в сварных соединениях трещины часто появляются в зоне расположения различных технологических или конструктивных концентраторов (рис.2.11).

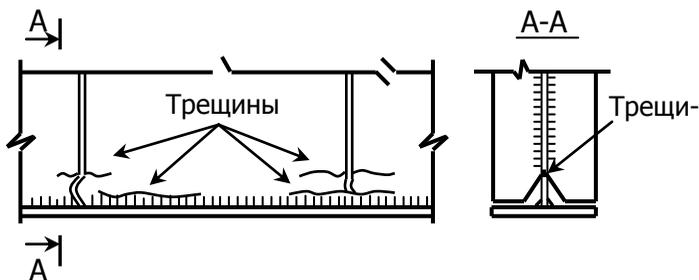


Рис.2.11. Трещины, появившиеся в зонах конструктивных концентраторов

Технологические дефекты (непровары, трещины, надрывы, расслоения и подрезы), пропущенные при изготовлении, при сварке во время ремонта могут стать концентраторами термопластических деформаций. Это происходит в тех случаях, когда металл вблизи дефекта подвергается повторному местному нагреву или когда свободная усадка шва, имеющего дефект, затруднена. В качестве примера в табл.2.1 представлены неблагоприятные конструктивно-технологические решения, которые могут вызвать охрупчивание и образование трещин в основном и наплавленном металле, и даны рекомендации по их устранению.

Таблица 2.1

Типовые технологические и конструктивные факторы, вызывающие местное охрупчивание и образование трещин в основном и наплавленном металле, и рекомендации по их устранению [6]

Изображение дефекта	Название дефекта	Причины появления дефекта или охрупчивания	Методы предотвращения охрупчивания и ремонт дефектов
1	2	3	4
	<p>Технологический дефект в пересекающихся швах. 3 – дефект в шве (трещина).</p>	<p>Неправильный порядок сварки швов (сначала – шов 2, потом – шов 1).</p>	<p>Правильный порядок выполнения швов (сначала шов 1, потом – шов 2). Полное удаление дефекта и повторная качественная заварка.</p>
	<p>1 – непровар кромок.</p>	<p>Местное смещение шва при автоматической сварке под флюсом.</p>	<p>Контроль за стыком в процессе сварки. Полное удаление дефекта и повторная качественная заварка.</p>
	<p>Трещина, появившаяся при заварке дефектного участка 3.</p>	<p>Неправильный порядок сварки секций стыка (1, 2, 3).</p>	<p>Правильный порядок сварки секций: сначала – секция 3, потом – секции 1 и 2).</p>
	<p>1 – расслоение в листе.</p>	<p>Некачественный материал (расслоение, шиферность, закаты и др. дефекты листа).</p>	<p>Применять материал, в котором отсутствует расслоение. Работоспособность такой конструкции зависит от толщины листа. Например, для труб $\varnothing 125 \times 4,5$ толщина листа должна быть не менее 18 мм.</p>
	<p>Технологические дефекты в наплавленном металле при заварке отверстия. 1 – шлаковые включения.</p>	<p>Отверстие малого диаметра. Шлак не успевает всплыть на поверхность. Большие сложности при его зачистке</p>	<p>Не рекомендуется заваривать отверстия в листах с $D < 2,5 \cdot S$, так как в этих случаях избежать дефектов в наплавленном металле невозможно</p>
	<p>Исчерпание запаса пластичности.</p>	<p>Незаваренная щель 1 между торцами элементов, пересекаемая соединительными швами.</p>	<p>Расширить зазор между стыкуемыми элементами на величину 50 мм или недovarивать фланговые швы до плотно приторцованных кромок на длину не менее 30 мм с каждой стороны.</p>

Машины и автоматизация сварочного производства

	<p>Исчерпание запаса пластичности в местах концентрации напряжений</p>	<p>Незаваренные узкие щели 1 и 2 между торцами элементов.</p>	<p>Расширить зазор между стыкуемыми элементами на величину 50 мм или недovarивать угловые фланговые швы до плотно приторцованных кромок на длину не менее 30 мм с каждой стороны.</p>
	<p>Исчерпание запаса пластичности в местах концентрации напряжений</p>	<p>Незаваренная узкая щель 1 между торцами соединяемых прутков, пересекаемых угловыми швами</p>	<p>Расширить зазор между торцами прутков на величину не менее 50 мм или недovarивать швы накладок на длину не менее 30 мм с каждой стороны</p>
	<p>Исчерпание запаса пластичности в местах концентрации напряжений</p>	<p>Незаваренная узкая щель 1 между торцами соединяемых уголков, пересекаемых угловыми швами</p>	<p>Расширить зазор между торцами уголков на величину не менее 50 мм или недovarивать швы накладок на длину не менее 30 мм с каждой стороны</p>
	<p>Исчерпание запаса пластичности в местах концентрации напряжений</p>	<p>Незаваренная узкая щель 1 между торцами окантовки 2 лаза, пересекаемая соединительными швами</p>	<p>Вначале выполнить стыковые швы на щелях 1 с полным проваром, затем – соединительные швы между окантовкой и стенкой</p>
	<p>Объёмное напряжённое состояние</p>	<p>Пересечение пространственных сварных швов балки</p>	<p>Недovarивать элементы ребер до растянутого пояса балки на расстояние не менее 60 мм (сделать вырезы в ребрах)</p>
	<p>Исчерпание запаса пластичности в местах близко расположенных швов</p>	<p>Близко расположенные сварные швы</p>	<p>Не допускать сближения сварных швов менее чем на 50 мм</p>
	<p>Исчерпание запаса пластичности</p>	<p>Близко расположенные сварные швы и наличие конструктивного концентратора</p>	<p>Вместо косынки-надставки применять косынку-прокладку. Если изменить конструкцию невозможно, то необходимо обеспечить плавное сопряжение косынки с поясом радиусом не менее 50 мм</p>

Продолжение табл.2.1

1	2	3	4
	<p>Исчерпание запаса пластичности</p>	<p>Близкое сопряжение сварных швов и наличие конструктивного концентратора – резкое изменение поперечного сечения пояса фермы</p>	<p>Изготовить пояс из сплошного прокатного профиля. При резком изменении сечения проката выполнить плавное сопряжение пояса, соединить бездефектным швом</p>
	<p>Исчерпание запаса пластичности</p>	<p>Конструктивный концентратор – резкий выступ на концах стыкового шва сопрягаемых балок</p>	<p>Использовать фигурные вставки. 1 – стыковые швы.</p>
	<p>Конструктивный концентратор. Исчерпание запаса пластичности</p>	<p>Конструктивный концентратор – резкое изменение толщины стыкуемых элементов</p> <p>Конструктивный концентратор – резкое изменение ширины сопрягаемых элементов</p>	<p>Обеспечить плавное сопряжение листов (для а - д).* Сделать косы на более широком элементе (соотношение катетов 1:5) и зашлифовать место 1 абразивным камнем (для е)</p>

Окончание табл.2.1

1	2	3	4
	<p>Исчерпание запаса пластичности</p>	<p>Конструктивный концентратор – резкое изменение поперечного сечения конструкции</p>	<p>Кроме фланговых швов выполнить лобовые</p>
	<p>Исчерпание запаса пластичности</p>	<p>Конструктивный концентратор – резкое изменение поперечного сечения конструкции</p>	<p>A - A</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. При выполнении торцевых швов отношение их катетов должно быть $1:2 \div 1:2,5$. 2. Участки 1 в торцах накладок зачистить наждачным камнем. Риски от камня должны быть направлены вдоль действия усилия в элементе. 3. Накладки должны иметь овальную или ромбическую формы
	<p>Исчерпание запаса пластичности</p>	<p>Конструктивный концентратор – резкий выступ в местах прикрепления козынок или ребер</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Срезать концы ребра кислородно-ацетиленовой сваркой по радиусу $R_1 \geq 50$ мм, при этом не касаться сварного шва, обозначенного на рисунке. 2. Обработать концы ребра заподлицо с основным элементом абразивным камнем по радиусу $R_2 < 50$. 3. При абразивной обработке швов и концов ребер риски от камня должны быть направлены вдоль действующих усилий

2.4. Повреждения в результате внешних механических воздействий

К повреждениям сварных конструкций в результате случайно приложенной статической нагрузки относятся вмятины, гофры, погнутости, пробоины, различные деформации, изломы (рис.2.12).

Некоторые из перечисленных повреждений могут быть исправлены холодной или горячей правкой, шлифовкой абразивным инструментом, другие требуют исправления путём использования сварочных технологий.

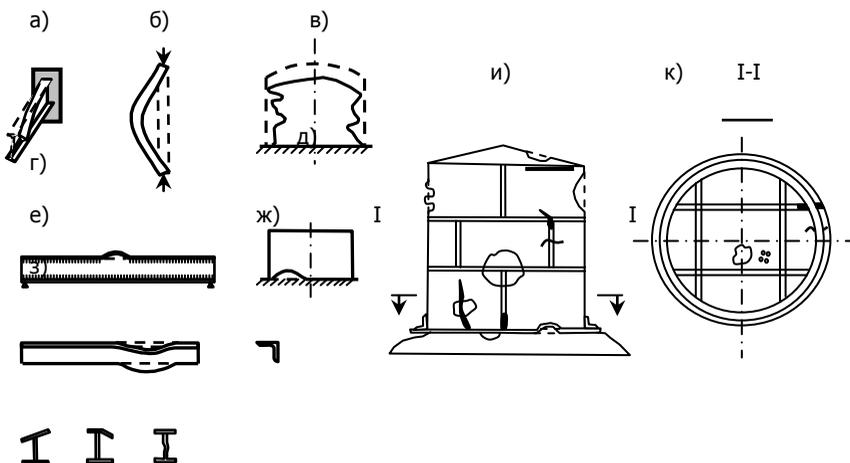


Рис.2.12. Типичные повреждения сварных конструкций в результате действия незапланированных внешних воздействий в процессе монтажа и в период эксплуатации

2.5. Повреждения поверхностей конструкции и/или деталей

Существуют три основные причины повреждения поверхностей сварных конструкций и деталей:

- непредусмотренное условиями эксплуатации механическое воздействие;
- коррозия;
- механический износ.

Непредусмотренное условиями эксплуатации механическое воздействие может вызывать появление вмятин, изгибов, ристок, царапин, локальных разрывов (рис.2.13). Дефекты этого вида чаще появляются в процессе монтажа конструкции. Их появление

вызывает не только концентрацию напряжений, но вследствие локальной пластической деформации в зоне дефекта значительно снижается запас пластичности металла. Известны случаи хрупкого разрушения трубопровода, поврежденного ножом бульдозера. В зависимости от степени повреждения конструкции ремонт выполняют путем механической правки, наплавки металла на поверхность дефекта или (чаще) путем удаления и замены поврежденного участка конструкции.



Рис.2.14. Эрозионное повреждение газопровода в зоне контакта с электрическим проводом



Рис.2.13. Повреждение трубопровода в результате механического воздействия

В основе механизма коррозионных повреждений лежат электрохимические процессы, являющиеся следствием неоднородности электрохимического потенциала поверхности конструкции. Такой вид повреждений характерен для конструкций, работающих в среде электролитов (щелочи, кислоты).

Существует много разновидностей коррозионного и эрозионного воздействия на сварные конструкции и детали машин.

Эрозией металлов называют процесс разрушения поверхностных слоёв в результате механического воздействия потока газа, жид-

кости, твёрдых частиц или под влиянием электрических разрядов (электроэрозия, рис.2.14).

Сопrotивляемость сварных конструкций накоплению повреждений в различных средах определяется тремя основными факторами: степенью неоднородности электрохимических свойств основного металла и металла шва; напряжённым состоянием металла; агрессивностью воздействия среды.

Основные виды коррозии и характер разрушения сварных соединений показаны в табл.2.2.

Таблица 2.2

Виды коррозии сварных соединений и характер разрушения [7]

Вид коррозии		Характер разрушения
1		2
Общая коррозия	Равномерная	
	Сосредоточенная на шве	
	Сосредоточенная в зоне термического влияния	
	Преимущественно на основном металле	
Местная коррозия	В зоне термического влияния	
	Ножевая в зоне сплавления	
	В сварном шве	
	Точечная	
Коррозионное растрескивание под напряжением	Возникновение и развитие трещин	
Коррозионная усталость	Ускорение скорости роста трещин	



Машины и автоматизация сварочного производства

Наиболее часто встречающиеся виды коррозионных повреждений: общая, местная и коррозия под напряжением.

Общая коррозия охватывает большую часть поверхности металла, находящуюся в среде. Она может быть равномерной и неравномерной в зависимости от глубины поражения на отдельных участках.

Наиболее часто встречаемые виды местной коррозии следующие: коррозия в зоне термического влияния, ножевая в зоне сплавления, в сварном шве, пятнами на основном металле или сварном шве, точечная.

Местная коррозия опасней, чем общая. Общую коррозию, как правило, удаётся прогнозировать, а местная пока не поддаётся прогнозированию и может привести к внезапному разрушению.

Наиболее опасны и внезапны коррозионно-механические разрушения сварных соединений и конструкций, вызванные совместным воздействием коррозионной среды и напряжениями. Наличие коррозионной среды и статических напряжений иногда вызывает коррозионное растрескивание, одновременное воздействие среды и повторно-статические или циклические нагрузки вызывают коррозионно-усталостные разрушения. Эти разрушения могут быть как межкристаллитными, так и транскристаллитными.

В настоящее время наибольшие проблемы в трубопроводном транспорте связаны со стесс-коррозией (коррозия под напряжением). На долю ремонта трубопроводов с таким видом повреждений приходится 30-40%.

На рис.2.15 показана поверхность трубы магистрального трубопровода, подверженная стресс-коррозии.



Рис.2.15. Поверхность стенки магистрального трубопровода



Сварные соединения более подвержены коррозионным поражениям по сравнению с основным металлом в связи с химической и структурной неоднородностями, наличием остаточных напряжений, концентрацией напряжений в зоне перехода от шва к основному металлу.

Механический износ является следствием взаимодействия двух поверхностей. Классификация видов механического износа показана на рис. 2.16.

Наиболее часто механический износ проявляется при трении сопряженных деталей машин.

В зависимости от условий взаимодействия трущихся пар различают износ при трении качения, при трении скольжения и в абразивной среде. К механическому износу следует отнести явления контактной усталости, характерные для зубчатых передач и подшипников качения, а также явления термической усталости, возникающие в деталях штампов для горячей объемной штамповки и в валках прокатных станов.

Механический износ сопровождается сравнительно равномерным удалением металла с трущихся поверхностей или поверхностей, контактирующих с абразивной средой, что приводит к нарушению работоспособности конструкции вследствие изменения размера деталей либо из-за удаления с поверхности деталей слоя со специальными служебными свойствами, например фрикционными или износостойкими.



Рис.2.16. Разновидности источников механического износа

При трении металла о металл возможно явление схватывания, приводящее к наволакиванию металла и разрушению металлических поверхностей.

Под действием контактных напряжений высокой интенсивности в парах трения типа колесо – рельс возможно появление дефекта наволакивания материала (рис.2.17).

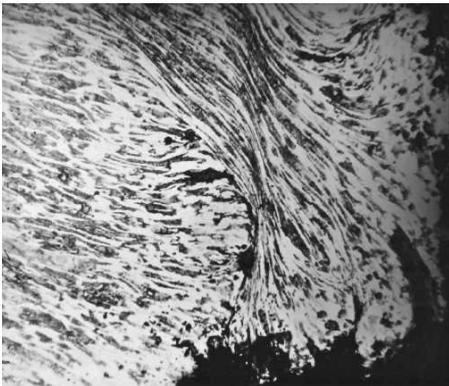


Рис.2.17. Наволакивание материала и образование трещины

Аналогичный вид износа возникает при контакте звездочек с цепями, при работе пары шестерен. Степень повреждения поверхности зависит от ее твердости. Обычно контакт между металлами одинаковой твердости дает значительный износ. Поэтому для пары трения целесообразно выбирать материалы различной твердости.

Абразивный износ с ударами имеет место в дробильных установках и размольном оборудовании. Такому виду износа подвержены плиты дробилок, молоты, рельсы, железнодорожные крестовины стрелочных переводов. В этом случае в результате измельчения обрабатываемого продукта возникают абразивные частицы, ускоряющие процесс износа.

Разновидностью абразивного износа является износ при наличии давления. Этот вид износа имеет место в том случае, когда твердые абразивные частицы находятся между металлическими деталями, дробятся ими. Это вращающиеся дробилки, лопасти смесителей, лезвия скребков. Для повышения стойкости к такому виду износа детали должны иметь на поверхности слой из аустенитно-марганцовистых, мартенситных или карбидосодержащих сплавов. Мелкие, равномерно распределенные карбиды титана, повышают стойкость к такому виду изнашивания.

К механическому износу можно отнести износ в результате термической усталости. Такому износу подвержены направляющие лопатки газовых турбин (рис.2.18), прокатные валки, детали штампов для горячей объемной штамповки.



Рис.2.18. Направляющие лопатки газовой турбины ГТК-25-И (множественные трещины термической усталости)



Машины и автоматизация сварочного производства

Циклический нагрев и охлаждение поверхности инструмента для горячей обработки металлов приводит к чередующемуся расширению и сжатию поверхностных слоев инструмента и появлению так называемых разгарных трещин. На рис.2.19 показана поврежденная поверхность ролика машины для производства минеральной ваты. Во время работы на ролик постоянно воздействует струя расплавленной базальтовой массы. Изнутри ролик постоянно охлаждается водой. Поэтому материал инструмента должен обладать термостойкостью и высоким сопротивлением термической усталости. Износ усугубляется работой в окислительной атмосфере.



Рис.2.19. Разгарные трещины на поверхности ролика машины для производства минеральной ваты

Для работы в условиях повышенных температур используют сплавы на никелевой или кобальтовой основе.

Как правило, к разрушению приводит совместное действие нескольких факторов, один из которых в каждом конкретном случае является определяющим.

Для ремонта деталей и конструкции, получивших в процессе монтажа или эксплуатации повреждения поверхности, изменение размеров и формы, применяют: наплавку поврежденной поверхности; установку дополнительных деталей; замену поврежденного участка новой деталью.



3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕМОНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ

3.1. Способы ремонта

Выбор способов исправления дефектных участков производится с учётом:

- природы дефекта (трещины, эрозионный износ, коррозионное растрескивание и т.д.);
- конструкции изделия;
- материального оформления конструкции (марки основного материала, его толщины, марки материалов штуцеров, люков, лазов, днищ и др. элементов конструкции, использованных сварочных материалов);
- степени повреждения конструкции и размеров поврежденного участка;
- условия эксплуатации конструкции (наличие и состав среды, наличие сред, вызывающих коррозионное растрескивание, наводораживание, и т.д., минимальная и максимальная температуры эксплуатации, величина давления и характер его воздействия: постоянное или циклически изменяющееся);
- условий, в которых производится ремонт, специальных требований к результатам ремонта;
- температурных условий проведения ремонтных работ;
- наличия приварных устройств в местах дефектов (штуцеров, люков, лазов, днищ и др. элементов);
- расположения дефектов относительно элементов конструкции;
- пространственного расположения дефектов и их глубины, которые в значительной мере определяют вид разделки и необходимость выполнения сварки в нижнем, вертикальном или в потолочном положениях;
- экономической целесообразности метода исправления (зачистка, наплавка, замена дефектного участка).

В тех случаях, когда глубина дефекта или повреждения поверхности деталей не превышает размеров поля допуска на толщину стенки и не влечет за собой ослабления расчетного сечения конструкции, разрешается исправлять механической обработкой (например, шлифовкой) без последующей заварки. К таким дефектам относятся: чрезмерная выпуклость или провисание шва, подрезы, коррозионные повреждения и другие поверхностные дефекты. В дру-



Машины и автоматизация сварочного производства

гих случаях требуется удаление поврежденного металла конструкции и выполнение ремонта с применением сварки.

В настоящее время наиболее широко применяют следующие способы ремонта:

- удаление дефекта путем зачистки абразивным инструментом дефектного участка с утонением металла и плавным выходом на поверхность;

- наложение сварного шва на поврежденный участок (заварка дефекта);

- наплавка металла на поврежденную поверхность с целью восстановления размеров деталей или восстановления специальных характеристик поверхности;

- замена поврежденного участка конструкции новым;

- замена части конструкции;

- ремонт методом дополнительных деталей.

Одиночные протяженные дефекты (трещины в швах и на основном металле, непровары и несплавления, подрезы) обычно ремонтируют путем удаления поврежденного участка металла и последующего наложения шва на поврежденный участок, но, если трещины имеют разветвленный, паукообразный характер, то поврежденный участок удаляют полностью и заменяют его новым. Повреждения, вызванные коррозией металла или износом трущихся деталей, ремонтируют путем наплавки металла на поверхность конструкции. Если повреждение поверхности имеет большую глубину, то ремонт выполняют методом установки дополнительных деталей, например, путем установки накладок, перекрывающих поврежденный участок. Повреждения типа вмятин (см. рис.2.13) ремонтируют путем замены части конструкции. Если ремонт выполняют без остановки работы конструкции, например, без остановки перекачки продукта через магистральный трубопровод, то ремонт производят путем установки дополнительных деталей – специальных ремонтных муфт.

Перед разработкой технологии ремонта необходимо провести анализ условий эксплуатации, конструктивные особенности поврежденной детали или конструкции, технологию её изготовления (технологии монтажа и возможного ранее проведенного ремонта), установить причины и характер повреждения.

По результатам контроля сварной конструкции должно быть принято решение о способе исправления дефектов: выборкой дефектного металла шва, повторной сваркой, наплавкой, вырезкой и сваркой заплат, заменой элемента конструкции или ее части.

Для облегчения принятия решения по выбору варианта ремонта необходимо обладать информацией относительно имеющегося повреждения и накопленного опыта ремонта различных видов повреждений. Накопленный опыт эксплуатации листовых конструкций позволяет допустить ремонт соединения с Т-образным расположением (сопряжением) швов, **крестообразное расположение швов не допускается** из-за возможности образования высоких остаточных (реактивных) напряжений в месте ремонта. Крестообразное расположение швов при выполнении ремонтных работ допускается только в том случае, если конструкция после изготовления была подвергнута термообработке для снятия остаточных напряжений. В этом случае после ремонта требуется проведение повторной термообработки. Для обсуждения возможных вариантов ремонта на рис.3.1 представлены различные варианты расположения трещин в сварной конструкции [8].

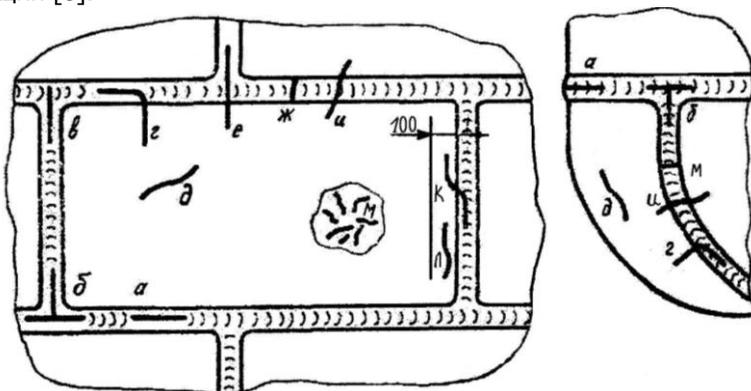


Рис.3.1. Расположение трещин на конструкции

Трещины вида *а, б, в, г, д* в корпусах сосудов, аппаратов и других устройств устраняют сваркой после удаления поврежденного дефектами металла, соответствующей подготовки кромок.

Если трещины (*е, ж, и*) расположены так, что после их ремонта образуется крестообразный шов или трещина расположена в околошовной зоне вдоль шва на расстоянии менее 100 мм от него (*к, л*), то для их устранения требуется вырезка дефектного участка и варка «вставки».

Однако в тех случаях, когда после изготовления сварная конструкция подвергалась термообработке для снятия остаточных напряжений, вполне допустим ремонт путем обычной выборки трещин



вида *e*, *ж*, *и*, *к*, *л* и последующая их заварка, несмотря на образование крестообразных швов, но после ремонта требуется проведение термической обработки для снижения уровня остаточных напряжений.

Если глубина трещины не превышает $0,5S$, то поврежденный металл удаляют на всю глубину трещины до получения V-образных кромок под углом 55° - 60° . Если трещины глубиной более $0,5S$ или сквозные, то поврежденный металл удаляют на всю толщину с последующей обработкой кромок для получения V-образных или X-образных кромок в зависимости от толщины стенки конструкции и возможности выполнения сварки с двух сторон.

В случае когда толщина корпуса в местах зашлифовки дефектных участков меньше расчётной толщины, ремонт может быть выполнен путём наплавки и последующей зачистки отремонтированного участка. Корпуса сосудов и аппаратов, имеющие коррозионные или эрозионные повреждения стенок, допускается ремонтировать путём зачистки и наплавки дефектных мест, если:

- сумма площадей дефектных участков не более 20% площади рабочей поверхности корпуса;

- площадь одного дефектного участка не более 500 см^2 ;

- глубина дефекта не более 30% фактической толщины стенки корпуса. В некоторых случаях (например, при ремонте трубопроводного транспорта) наплавка допускается, если остаточная толщина основного металла более 5мм;

- расстояние между подготовленными к наплавке отдельными поврежденными участками (размер l на рис.3.2) должно быть не менее 3-кратной фактической толщины стенки корпуса и не менее 100 мм (в противном случае соседние участки должны рассматриваться как один поврежденный участок);

- отсутствует склонность металла корпуса к коррозионному растрескиванию под напряжением. Отдельные очаги коррозии и эрозии исправляют наплавкой (рис.3.2);

- при $l > d$ отдельно наплавляется каждый очаг;

- при $l < d$ дефекты объединяются и наплавка производится, как на один дефект увеличенной площади. Эта площадь должна быть не более 500 см^2 .

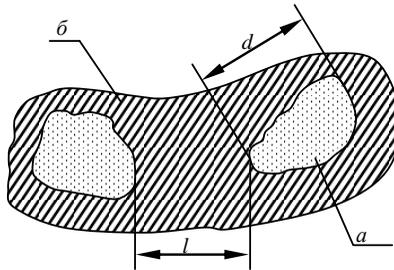


Рис.3.2. Расположение очагов коррозии или эрозии: а – очаг коррозии или эрозии, дефектный участок; б – основной неповреждённый металл; d – наибольший размер дефектного участка; l – расстояние между дефектными участками

Если толщина корпуса в местах коррозии или эрозии меньше расчётной толщины стенки или повреждённые участки имеют площадь более 500 см^2 , ремонт осуществляют путём полного удаления повреждённого участка и сварки вставки либо ложного штуцера. Так же поступают в случае «гнездообразного» расположения трещин (см. рис. 3.1,м): необходимо удалить весь участок стенки и заменить его вставкой, либо ложным штуцером, конструкция которых и технология их варки подробно рассмотрены ниже.

Дефекты конструкций: гофры, вмятины, выпучены, гнездообразные трещины, коррозия и эрозия сверх допустимых пределов и другие повреждения, имеющие площадь более 500 см^2 , устраняются:

- путём установки вставки либо ложных штуцеров;
- путём замены листа, обечайки или днища.

Следует придерживаться следующих рекомендаций:

– дефекты в сварном прямолинейном шве любой протяженности допускается ремонтировать путем удаления металла с последующей сваркой, если ширина ремонтного шва не будет превышать на $2-2,5$ мм исходную ширину шва;

– заварка единичных трещин допускается любой протяженности, если при этом не нарушаются требования нормативной документации по расположению швов, а степень их извилистости и наклона по толщине не приводит к нарушению формы сварного шва;

– повреждение в виде группы поверхностных несквозных трещин может быть устранено путем удаления слоя поврежденного металла с последующим восстановлением исходной толщины наплавкой;

– участки разветвленных трещин и их групп могут быть отремонтированы вырезкой поврежденной части и сваркой заплат, новых элементов или их частей;

– течи, трещины в сварных швах соединений труб с трубной решеткой устраняют вырезкой металла шва или вышлифовкой единичного дефекта с последующей сваркой и дополнительной развальцовкой трубы.

Рекомендуемые формы вставок и монтажных окон, их размеры и расположения на конструкции показаны на рис.3.3.

Технология ремонта, помимо сварки, должна включать ряд дополнительных операций, направленных на обеспечение качества ремонта.

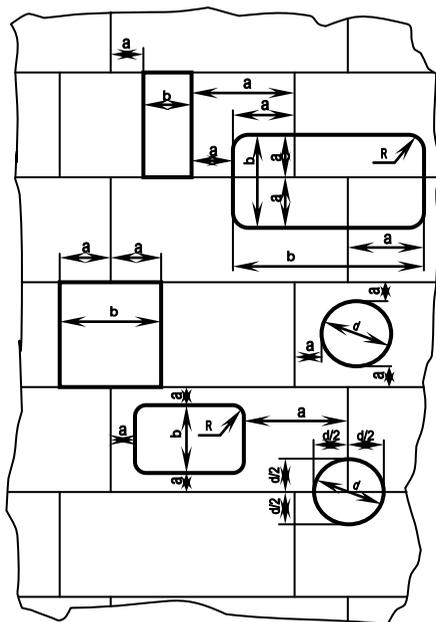


Рис.3.3. Форма, размеры и размещение вставок на конструкции с толщиной стенки S . Допускаемые размеры: $R \geq 50$ мм; $a \geq 3S$ и ≥ 100 мм; $b \geq 3S$ и ≥ 250 мм; $d \geq 3S$ и ≥ 200 мм

3.2. Защита ремонтируемого участка от атмосферного воздействия и его очистка

В большинстве случаев сварную конструкцию, подлежащую ремонту, не представляется возможным поместить в цех или другое закрытое помещение. Поэтому место, где производится ремонт, должно быть укрыто от неблагоприятного воздействия окружающей среды, сырости, дождя, снега, ветра и др. Необходимо стремиться к



тому, чтобы при выполнении сварочных работ сварщик находился в удобном для сварки положении, а место ремонта было достаточно освещено. При ремонте в замкнутом пространстве должен быть обеспечен хороший приток свежего воздуха в зону работы сварщика. Электроды должны храниться на рабочем месте в подогреваемых пеналах. Все это необходимо для того, чтобы обеспечить качество шва при сварке в неудобных положениях и, самое главное, для того чтобы максимально снизить вероятность насыщения металла шва водородом.

Поверхности конструкций, поступающих в ремонт, как правило, содержат краску, изоляционные покрытия, ржавчину, следы масла, окалины и прочих загрязнений. Их присутствие на поверхности затрудняет выявление действительных контуров повреждения, особенно, концов трещин. Кроме того, наличие загрязнений вызывает появление в шве таких дефектов, как поры, трещины. Для очистки применяют химические растворители и механические способы: дробеструйная обработка, зачистка абразивным инструментом (механизированным или ручным) [9]. В отдельных случаях используют токарную или фрезерную обработку. Очистка производится до металлического блеска поверхности зоны ремонта.

3.3. Выявление границ поврежденного участка

Границы поврежденного участка определяют визуально с использованием лупы 10-кратного увеличения. Для обнаружения трещин и определения их границ применяют магнитопорошковую или цветную дефектоскопию, контроль проникающими жидкостями. Для точного выявления глубины залегания дефектов следует проводить ультразвуковой контроль (УЗК) в местах расположения дефектов. Контур поврежденного участка должен быть отмечен кернением или несмываемой краской.

На рис.3.4 показан пример подготовки под ремонт поверхности трубы с коррозионными повреждениями [10].

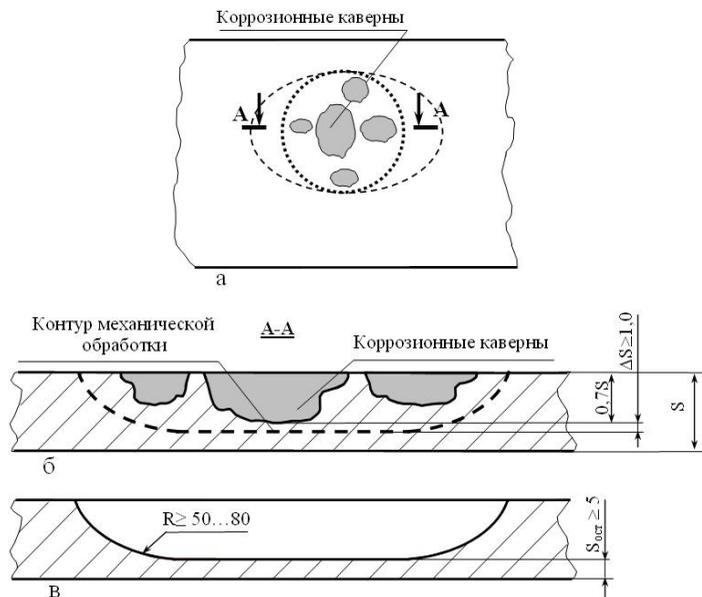


Рис.3.4. Область коррозионных повреждений на трубе (а); граница удаления повреждений (б); профиль сечения полости, подготовленной для восстановления поверхности наплавкой (в)

Подготовка к ремонту трещин. Для более точного определения концов трещины рекомендуется применять контроль проникающими жидкостями. Иногда для тех же целей рекомендуется подогреть металл в конце трещин газовой горелкой до температуры 100-150°C.

Для того чтобы предотвратить распространение трещины в процессе ремонта, перед выполнением разделки кромок необходимо накернить и затем засверлить сверлом диаметром 6-12 мм на глубину, превышающую ее размер по глубине на 2-3 мм (рис.3.5). Отверстие рекомендуется раззенковать сверлом большего диаметра, предварительно заточив его режущие кромки на угол 60°. Выполнение раззенковки отверстия позволит лучше видеть конец трещины, кроме того, обеспечит требуемую разделку кромок в начале и в конце трещины.

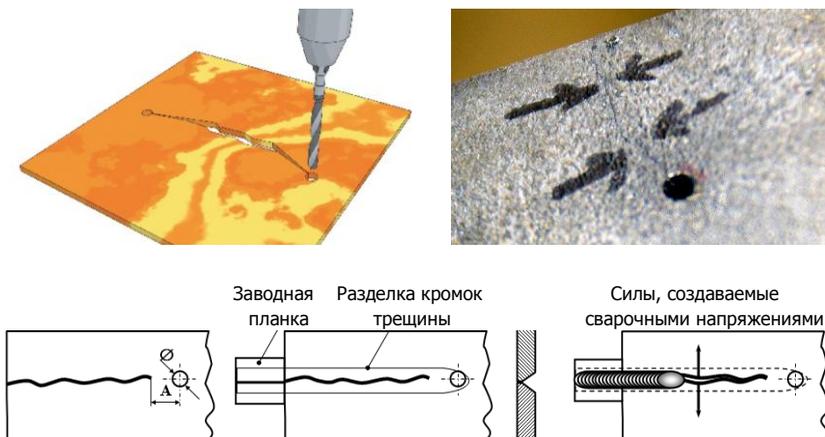


Рис.3.5. Отверстие на краю трещины препятствует ее развитию

Сверление необходимо выполнять так, чтобы центр отверстия совпадал с концом трещины или находился впереди трещины на расстоянии 5-10 мм.

После этого приступают к удалению металла на дефектном участке (выполняют разделку кромок под ремонтный шов). Обычно эту операцию выполняют высокоскоростными шлифмашинами, а в качестве инструмента используют абразивные круги толщиной 2,0-3,0 мм, но допускается применение других методов и инструментов, например фрезерование или вырубка пневмозубилом.

Для удаления дефектных участков длиной более 200 мм допускается производить выборку с применением воздушно-дуговой строжки. После воздушно-дуговой строжки необходимо произвести зачистку кромок выборки абразивным инструментом на глубину 1-3 мм для удаления слоя, насыщенного углеродом, который может способствовать появлению трещин при заварке выборки.

На конструкциях из **нержавеющих сталей** вырубка или огневая обработка дефектных мест **не допускается**. Разделку кромок рекомендуется производить пневмо- или электрошлифовальными машинками, торцевыми фрезами, пальчиковыми фрезами или абразивным инструментом. При вышлифовке не рекомендуется прикладывать большие усилия на круг (фрезу), приводящие к появлению цветов побежалости на обрабатываемом металле и перегреву металла, что для аустенитных сталей недопустимо.



Удалять металл в зоне дефекта необходимо на глубину, превышающую на 1-3 мм глубину залегания дефекта. Вышлифовку шва рекомендуется производить со стороны наименьшей глубины залегания дефекта. Угол раскрытия кромок зоны выборки дефекта должен составлять 50-60°. При большой толщине металла с целью уменьшения трудоемкости рекомендуется выборку выполнять с двух сторон.

Выборку единичного дефекта производить с превышением по длине на 30 мм на сторону с плавным выходом на поверхность металла. При расстоянии между внутренними единичными дефектами менее 50 мм их выборку целесообразно производить шлифовкой.

Минимальная длина участка шлифовки – 100 мм. Максимальная длина выборки за один цикл выполнения ремонта не должна превышать 300 мм независимо от глубины шлифовки. При большей длине ремонт выполняют отдельными участками последовательно.

Для подтверждения полноты удаления дефектов подготовленные под ремонтную сварку кромки или выборки подвергаются контролю визуальным осмотром и/или цветной дефектоскопией, а прилегающая к ним зона основного металла, на ширину равную толщине основного металла, но не менее 50 мм, подвергается контролю УЗД.

На рис.3.6 показана схема подготовки участка сварного шва с трещиной к ремонту [11]. Плавный выход выборки вдоль шва (радиус должен быть не меньше 80 мм) позволяет исключить образование пустот и шлаковых включений при заполнении разделки, а плавные очертания профиля поперечного сечения выборки позволяют исключить образование непроваров и несплавления кромок.

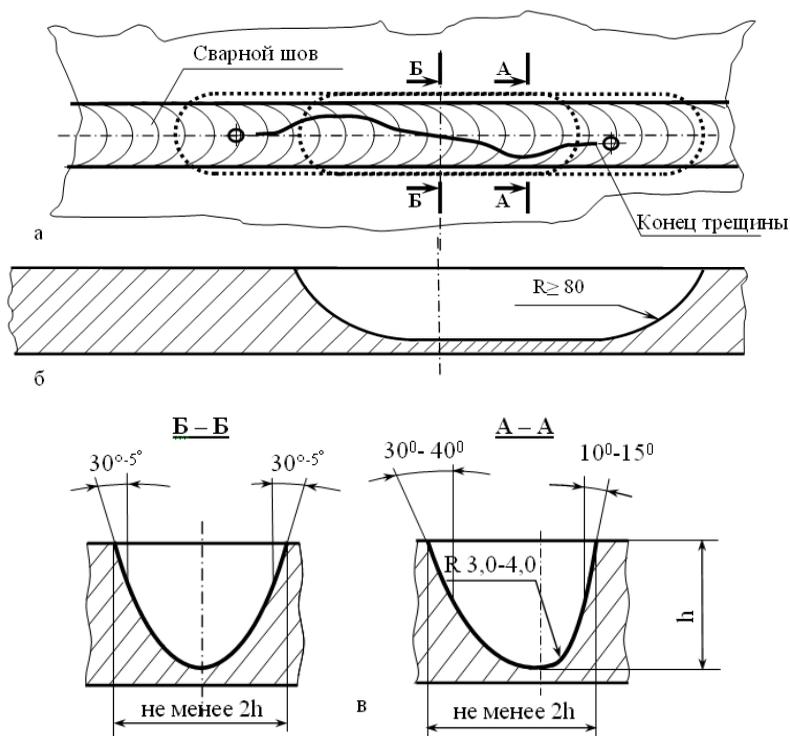


Рис.3.6. Подготовка шва с трещиной к ремонту: а – трещина в шве; б – профиль выборки вдоль трещины; в – профиль выборки в поперечном сечении

Необходимо иметь в виду, что для предприятия в целом выгоднее и безопаснее не экономить на подготовке к сварке, а обеспечить максимальные технические и организационные возможности получения качественных надежных сварных соединений или наплавки.

Качество подготовки кромок (поверхности) и сборки соединений для сварки должно быть проверено руководителем ремонтных работ и принято сварщиком, который будет выполнять данные сварочные работы.

3.4. Подогрев ремонтируемого участка перед сваркой

Подогрев ремонтируемого участка конструкции перед сваркой требуется практически всегда. Он необходим по нескольким причинам.

Во-первых, подогрев необходим для того чтобы устранить возможные остатки влаги на дне выборки и тем самым уменьшить вероятность насыщения металла ремонтного шва водородом. Для просушки используют подогрев до температуры 50-80°C.

Во-вторых, подогрев необходим для того, чтобы снизить скорость охлаждения металла шва и тем самым уменьшить вероятность образования малопластичных закалочных структур и предотвратить возможное образование холодных трещин при сварке углеродистых и низколегированных сталей. Температура предварительного подогрева в данном случае зависит от эквивалентного содержания углерода в стали и толщины основного металла в месте ремонта. Например, американский стандарт AWS D 1.1 рекомендует: при $C_{э\text{кв}} < 0,45\%$ подогрев с целью предотвращения появления закалочных структур проводить только при сварке металла больших толщин ($s > 35\text{мм}$); при $C_{э\text{кв}} = 0,45...0,6\%$ $T_n = 100-200^\circ\text{C}$, при $C_{э\text{кв}} > 0,6\%$ $T_n = 200-350^\circ\text{C}$.

При температуре окружающего воздуха ниже +5°C наплавку кромок и сварку независимо от толщины стыка производят с подогревом до температуры 250-350°C.

В большинстве случаев $T_n > 200^\circ\text{C}$. Как правило, при выполнении ремонта температура подогрева на 50° выше той температуры, которая рекомендуется при сварке сталей тех же марок.

При ремонте конструкций из низколегированных высокопрочных сталей температура подогрева должна быть не ниже 200°C, причем скорость нагрева при температуре выше 100°C не должна превышать 40°C в час. Ширина зоны нагрева должна быть приблизительно 500 мм в каждую сторону от дефекта. Необходимо стремиться к равномерному прогреву по всей толщине.

В-третьих, подогрев применяют для того, чтобы создать благоприятное поле собственных напряжений при выполнении сварки и предотвратить появление и распространение трещин.

В тех случаях, когда по технологическим или конструктивным причинам произвести подогрев не представляется возможным, реко-



мендуется перед выполнением ремонтного шва на кромки наплавить буферный слой аустенитного металла. При наплавке напряженное состояние в зоне сплавления менее жесткое, чем при сварке шва, поскольку отсутствуют силы, приложенные перпендикулярно зоне сплавления и, следовательно, появление трещин меньше, а пластичность аустенитного металла больше. Поэтому наплавку в этом случае можно производить без подогрева конструкции. После этого кромки ремонтного шва можно сваривать без подогрева, не опасаясь появления трещин, поскольку аустенитный металл шва обладает достаточно большим запасом пластичности, чтобы предотвратить появление трещин.

Технология ремонта с использованием аустенитных высоконикелевых сварочных материалов разработана НПО ЦКТИ и НПО ЦНИИТМАШ совместно с турбинными заводами [12]. Подварочные швы выполняют без подогрева, что создает определенные достоинства маневренности этой технологии, которую используют при ремонтных работах на тепловых электростанциях (ТЭС). На многих ТЭС такую технологию применяют несколько десятков лет. Однако отремонтированные этим способом корпусные детали не всегда обеспечивают высокую работоспособность при высоких температурах. Эксплуатационные повреждения на отремонтированных участках развиваются преимущественно по зоне сплавления разнородных материалов (причины - развитие кристаллизационных и диффузионных хрупких и разупрочненных прослоек металла, появление локальных термических напряжений из-за разности коэффициентов линейного расширения материалов, наличие сварочных дефектов из-за недостаточной сварочной технологичности высоконикелевых электродов и т.д.). В связи с этим рекомендуется такую технологию применять для деталей, эксплуатирующихся при температуре не выше 450°C, или в случаях, когда по организационно-техническим причинам невозможно применить подогрев ремонтируемых деталей при сварке.

Недостатком такой технологии ремонта является то, что аустенитный шов создает большую электрохимическую неоднородность сварного соединения, что может способствовать более интенсивной коррозии металла.

Поскольку регулирование полей собственных напряжений также оказывает существенное влияние на качество ремонта, рассмотрим его более подробно.



3.5. Регулирование полей собственных напряжений при ремонте

Холодный металл, окружающий ремонтируемый участок конструкции, ограничивает свободное перемещение кромок и создает сопротивление усадке металла шва при сварке аналогично тому, как это происходит при сварке с жестким закреплением соединяемых деталей. В результате этого на стадии охлаждения в металле шва и околшововой зоне могут появляться значительные по величине напряжения растяжения. В сочетании с другими неблагоприятными факторами, такими как образование закалочных структур, насыщение водородом, остаточные напряжения растяжения могут вызывать появление холодных трещин в ремонтном шве. Вследствие более жестких условий закрепления при ремонте появление трещин более вероятно, чем при сварке тех же материалов.

Одним из методов предотвращения трещин при ремонте является регулирование полей собственных напряжений в районе ремонтируемого участка конструкции. Существуют различные технологические приемы регулирования полей собственных напряжений:

- нагрев отдельных участков конструкции в месте ремонта [13-15];
- локальное силовое воздействие на конструкцию [13, 15-19];
- выполнение швов при ремонте в определенной последовательности и др. [13-19].

Главный принцип регулирования полей собственных напряжений состоит в том, чтобы создать в зоне сварки условия для компенсации перемещений, связанных с усадкой шва, или обеспечения возможно более свободного перемещения свариваемых кромок при усадке металла шва.

Рассмотрим это более подробно на примере ремонта конструкции с трещиной (рис.3.7).

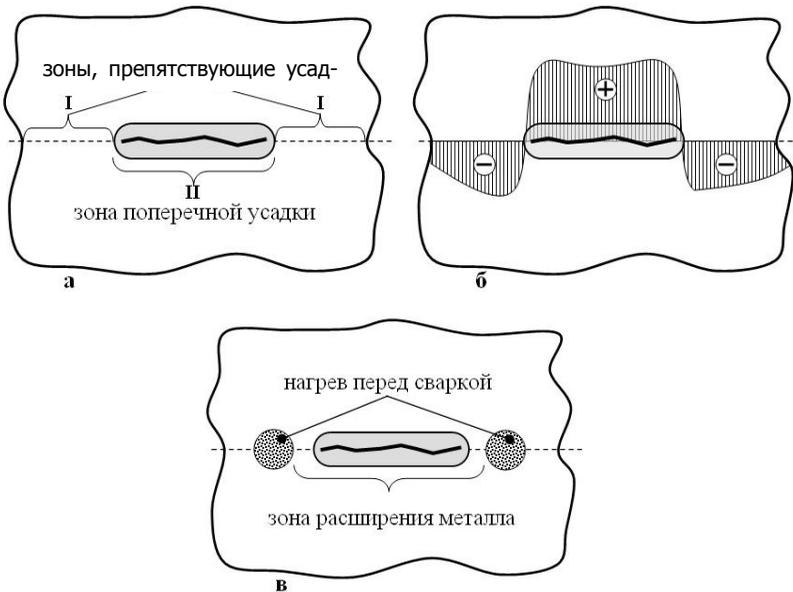


Рис.3.7. Обеспечение условий для свободного протекания поперечной усадки при ремонте конструкции с трещиной

При заварке выборки на участке II (рис.3.7, а) возникает поперечная усадка металла шва. Свободному протеканию усадки препятствуют участки I. В результате этого, после завершения сварки в ремонтируемой зоне конструкции, возникают остаточные напряжения, эпюра которых схематично показана на рис.3.7, б. Высокий уровень растягивающих остаточных напряжений в ремонтном шве способствует образованию трещин. Для снижения уровня остаточных напряжений используют метод компенсации поперечной усадки (рис.3.7, в). Суть его состоит в следующем. Перед сваркой вблизи начала и конца ремонтируемого участка нагревают металл до температуры 250-260°C. Термическое расширение пятен нагрева приводит к расширению металла в ремонтируемой зоне, к раскрытию трещины и обеспечивает благоприятные условия для совместной усадки разогретых участков и сварного шва в момент охлаждения, что позволяет снизить напряжения растяжения в шве в поперечном направлении и существенно уменьшает вероятность трещинообразования.

При предварительном подогреве рекомендуется обеспечить равномерный по толщине прогрев заданных участков, иначе в конструкции могут возникнуть дополнительные изгибные напряжения, затрудняющие проведение ремонта.



Метод местного нагрева в правильно выбранных местах достаточно эффективно снижает уровень остаточных напряжений в ремонтном шве. Его используют достаточно часто при ремонте. Нагрев следует выполнять на тех участках конструкции, расширение которых может вызвать предварительное расширение металла на ремонтируемых участках.

Рассмотрим еще несколько примеров использования этого метода [5, 6].

На рис.3.8, а показан пример ремонта маховика, одна из спиц которого получила трещину в период эксплуатации. Если не применять метод компенсации, то при заварке трещины обод и спицы будут препятствовать усадке металла шва.

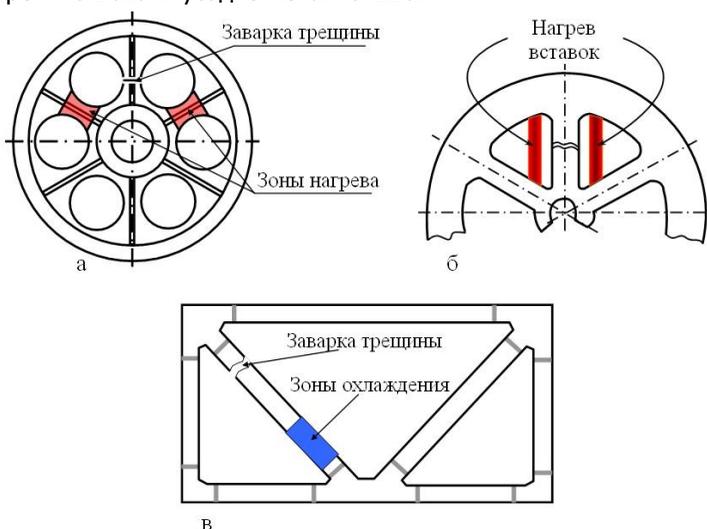


Рис.3.8. Примеры применения метода компенсации поперечной усадки шва за счет: термического расширения соседних участков конструкции (а); использования «тепловых домкратов» (б); термического сокращения отдельных участков конструкции (в)

По аналогии с предыдущим случаем усадку можно компенсировать за счет нагрева двух соседних спиц. Их расширение вызовет предварительные перемещения на участке сварки. Равномерное охлаждение после сварки всех трех спиц позволит предотвратить образование остаточных напряжений в зоне сварки.

Такого же эффекта можно достигнуть путём нагрева обода колеса, нагревая его симметрично по обе стороны от ремонтируемой спицы. Тепловое расширение обода приведет к компенсации усадки в ремонтном шве. Ориентировочно температура подогрева 200-250°С.



Машины и автоматизация сварочного производства

Аналогичные результаты могут быть получены, если использовать компенсационное перемещение, созданное за счет предварительного охлаждения участка конструкции (рис.3.8, в).

Охлаждение раскоса фермы вызовет предварительные перемещения на участке сварки. Параллельно с охлаждением зоны сварки производят подогрев зоны охлаждения до комнатной температуры, что предотвратит образование остаточных напряжений растяжения в ремонтном шве.

Третий пример (рис.3.8, б) иллюстрирует тот же прием компенсации перемещений, но за счет использования локального силового воздействия на конструкцию, например, с помощью «тепловых домкратов». Между ступицей и ободом устанавливаются стальные стержни, нагрев которых вызывает предварительные перемещения на участке сварки. Рекомендуется для стержней использовать аустенитную сталь, которая имеет значительно большее значение коэффициента температурного расширения, чем углеродистые стали, и более высокое значение предела текучести при высоких температурах.

Аналогичного эффекта можно добиться, применяя для локального силового воздействия на конструкцию вместо «теплого домкрата» механический домкрат.

Регулирование полей собственных напряжений при сварке можно осуществлять путем выбора определенной последовательности выполнения швов при ремонте. При выборе последовательности выполнения швов необходимо стремиться к тому, чтобы обеспечить максимальную возможность свободного протекания усадки металла шва, особенно в поперечном направлении, поскольку поперечная усадка сосредоточена вблизи шва. Выбранная последовательность не должна ограничивать податливость соединяемых элементов.

Рассмотрим пример ремонта двутавровой балки с трещинами в верхнем поясе (рис.3.9). Балка экскаватора была выполнена из стали марки 10ХСНД с толщиной поясов 20 мм, толщиной стенки 12 мм, длиной 6000 мм, высотой 1000 мм, с шириной полки 400 мм. Ремонт производится путем замены части верхнего пояса. Необходимо удалить продольный шов, связывающий полку и стенку на длине, превышающей размер дефектного участка на ΔL в каждую сторону от трещины. Если трещина одна, то рекомендуемое $\Delta L=400-500$ мм. При большой длине вырезаемого участка (рис.3.9, а) значение ΔL можно уменьшить.

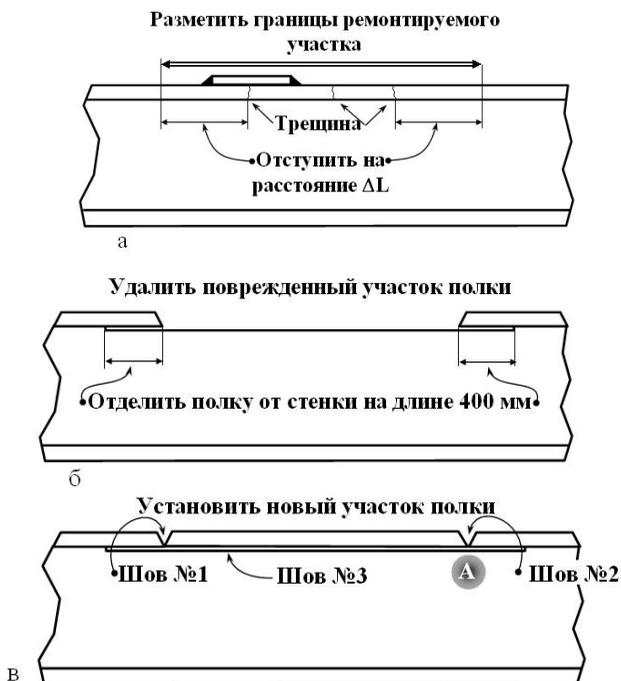


Рис.3.9. Регулирование собственных напряжений за счет выбора оптимальной последовательности выполнения швов

От размера ΔL зависит величина остаточных напряжений, действующих перпендикулярно ремонтируемому шву. Если длину ремонтируемого участка принять L , то величину этих напряжений можно ориентировочно подсчитать по формуле:

$$\sigma = \frac{\Delta_{non}}{L} E,$$

где: Δ_{non} – поперечная усадка сварного шва, величина которой зависит от толщины поясного листа, материала и количества проходов ($\Delta_{non}=0,5-2,0$ мм), E – модуль упругости материала.

Для снижения сварочных напряжений при выполнении швов №1 и №2, необходимо прорезать шов, соединяющий полку и стенку, еще на 400 мм с каждой стороны (рис.3.9, б). Это в еще большей степени увеличит податливость соединяемых элементов.

Сварку выполняют в следующей последовательности. Вначале поочередно сваривают шов №1 и шов №2 (рис.3.9, в). Поочередная сварка швов позволяет исключить накопление поперечной усад-



ки. По этой же причине не рекомендуется закрепление двух швов прихватками одновременно. Затем приступают к сварке шва №3. Если первым будет выполнен шов №3, то усадка металла швов №1 и №2 будет локализована вблизи этих швов, что приведет к появлению больших по величине напряжений и, возможно, к появлению трещин.

Сварку следует выполнять электродами с низким содержанием водорода. Корневой швов – электродами диаметром 3 мм; заполняющие и облицовочный швы – диаметром 4 мм. Снижение содержания водорода в ремонтном шве также уменьшает вероятность образования трещин.

Перед наложением шва №2 рекомендуется нагреть стенку газовым пламенем в месте «А» (рис.3.9, в) до температуры 200-250°С.

Швы №1 и №2 выполняют на выводных планках, которые затем аккуратно срезают абразивным инструментом или газовым пламенем. Места крепления планок и выход шва, как правило, зачищают абразивным инструментом.

Метод регулирования полей собственных напряжений за счет выбора оптимального порядка выполнения швов используется достаточно часто при ремонте. Способ сварки предпочтительней обратнo-ступенчатый, каскадный или горкой. Рекомендуется параллельные швы сваривать в противоположном направлении. Эта рекомендация основана на том, что поперечная усадка неравномерно распределяется вдоль шва. В конце шва ее величина больше, чем в начале.

3.6. Рекомендации по выполнению сварки при ремонте

Сварочные материалы, применяемые при ремонте, должны соответствовать по механическим и служебным характеристикам основному металлу или металлу ремонтируемого слоя. Они должны обладать хорошими сварочно-технологическими свойствами. Как правило, требуется, чтобы сварочные электроды позволяли производить сварку в любых пространственных положениях.

Главное требование – сварочные материалы должны обеспечивать **минимальное содержание водорода** в наплавленном материале. По этой причине рекомендуется применять электроды с основным покрытием.



Перед сваркой сварочные материалы должны пройти просушку (прокалку) по режимам, указанным в сопроводительных документах. На рабочем месте электроды должны храниться в специальных подогреваемых контейнерах.

Сварку многослойных швов рекомендуется выполнять отдельными узкими валиками (ниточным швом), ширина валика на 2-3 мм больше диаметра электрода. При этом каждый соседний валик сваривают в противоположном направлении.

Сварку рекомендуется выполнять на пониженной погонной энергии электродами диаметром 3 мм (корневые валики) и 4 мм (заполняющие и облицовочные валики).

При заполнении разделки валиками в средней и верхней частях разделки каждый слой шва выполняется за два или более проходов путем наложения отдельных валиков.

Для уменьшения поперечной усадки рекомендуется при заполнении разделки валиками вначале укладывать валики на кромки разделки, затем в центральной части. При такой последовательности усадка от валиков, расположенных у кромок, не полностью передается на соединение в целом.

Следует обратить внимание, что после сварки каждого валика необходимо произвести тщательную зачистку шва, чтобы удалить остатки шлака и исключить образование «карманов».

3.7. Сварка обратноступенчатым методом

При длине трещины более 300 мм сварку рекомендуется выполнять обратноступенчатым способом с длиной отдельной ступени 150-200 мм. Длина ступени подбирается так, чтобы металл в корне шва имел температуру не менее 200°C в процессе выполнения сварного шва по всей толщине. Обычно длина ступени приблизительно равна длине участка, наплавленного одним электродом. Это позволяет уменьшить число участков «start – stop». При обратноступенчатом способе (рис.3.10) сварка отдельных ступеней выполняется в противоположном направлении по отношению к основному направлению сварки. Каждую ступень заваривают полностью за один или несколько проходов. На рис.3.10 главное направление показано длинной стрелкой, а короткие стрелки указывают направление сварки каждой ступени, длина которой 150-200 мм.



Рис.3.10. Направление сварки всего соединения (стрелка вверху) и сварки отдельных ступеней; 1-6 – последовательность сварки секций

Для получения положительных результатов (уменьшения величины поперечных напряжений) является весьма существенным, чтобы переход от одной ступени к последующей производился быстро, так чтобы каждая последующая ступень сваривалась, пока температура предыдущей не менее 200°C.

Рассмотрим распределения поперечных напряжений при обратноступенчатом методе сварки [13]. Предположим, что прихватки расположены в точках P_1 P_2 и т.д. (рис.3.11).

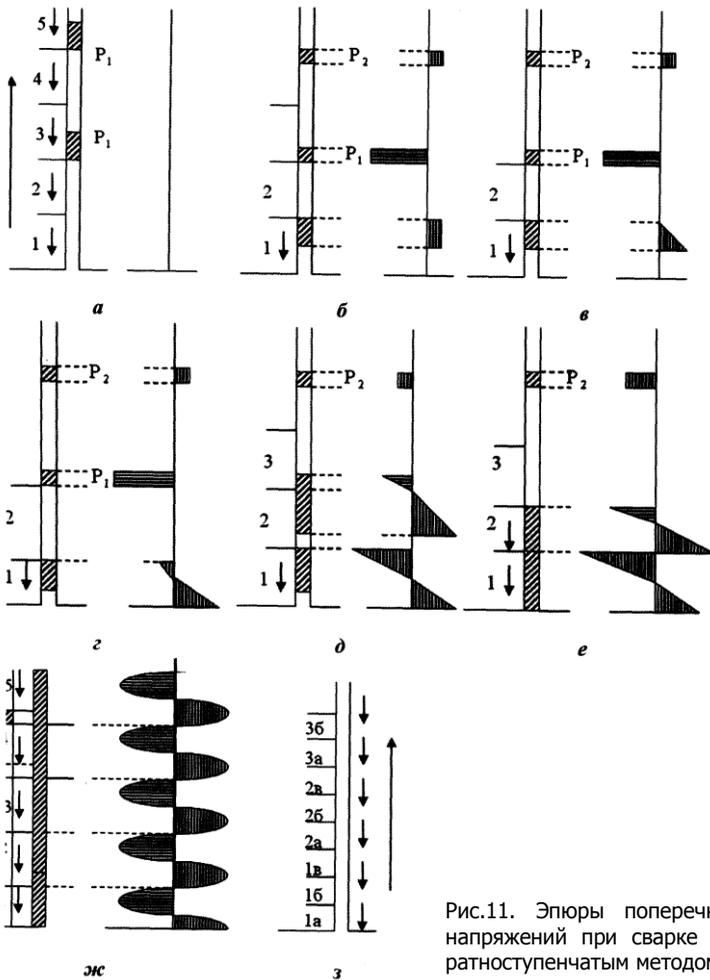


Рис.11. Эпюры поперечных напряжений при сварке обратноступенчатым методом

При сварке начала первой ступени поперечному сокращению сваренного участка будут противодействовать прихватки P_1 и P_2 , причём в прихватке P_1 будут действовать сжимающие напряжения, а в прихватке P_2 – напряжения растяжения. В свариваемом участке, пока он не имеет большой длины, возникнут напряжения растяжения (эпюра б). По мере увеличения длины свариваемого участка, в результате сокращения металла шва, на его конце вначале произойдёт разгрузка напряжений, а затем даже перемена знака (эпюры в-г). После сварки первой ступени распределение внутренних напряжений в системе будет ориентировочно соответствовать эпюре г. При свар-



ке второй ступени расплавляется прихватка P_1 . Напряжения сжатия, которые испытывала эта прихватка, снимаются, при этом происходит перераспределение напряжений во всей системе. Прихватка P_2 будет препятствовать усадке начала второй ступени, и в ней возникнут напряжения сжатия. Параллельно вступит в работу прихватка. Получит дополнительные напряжения сжатия и начало первой ступени.

В дальнейшем при сварке второй ступени в сваренном участке будут возникать и изменяться напряжения в том же порядке, который был установлен для сваренного участка первой ступени. В итоге в концевом участке второй ступени, охлаждающемся позднее начального, возникнут и сохранятся напряжения растяжения, тогда как начала второй и первой ступени, препятствующие усадке конца второй ступени, будут испытывать напряжения сжатия. Аналогичный характер будет иметь распределение напряжений и в следующих сваренных ступенях (эпюра ж).

При обратноступенчатом методе существенную роль играет быстрота заварки и перехода от одной ступени к следующей. Действительно, если сварку вести быстро и не ждать, когда остынет предыдущая сваренная ступень, то процесс поперечной усадки конца сваренной ступени будет происходить одновременно с поперечным сокращением начала свариваемой и предыдущей ступеней, вызываемых их охлаждением. Это обстоятельство благоприятно отразится на снижении максимальных остаточных напряжений и тем в большей степени, чем выше нагреты соседние участки, т.е. чем быстрее производится сварка и совершается переход от ступени к ступени.

Очевидно, слишком большая величина ступени также приведёт к значительному охлаждению каждой предыдущей, ранее сваренной ступени, и благоприятный эффект одновременного поперечного сокращения не будет использован. С другой стороны, следует отметить, что чрезмерное уменьшение длины ступени неприемлемо, так как при уменьшении длины ступени до нуля обратноступенчатый метод переходит в метод сварки на проход с прихватками.

Необходимо отметить, используемый на некоторых заводах обратноступенчатый метод сварки взброс, схема которого показана на рис.3.11, з, не позволяет получить такого же эффекта, поскольку именно благоприятное распределение температурных полей приводит к снижению поперечных напряжений при обратноступенчатом методе сварки.

Снижение максимальных пиковых напряжений, являющихся следствием применения обратноступенчатой сварки, уменьшает склонность к образованию трещин. Это весьма существенное пре-

имущество данного метода проявляется особенно при сварке стыковых швов жёстко закреплённых элементов.

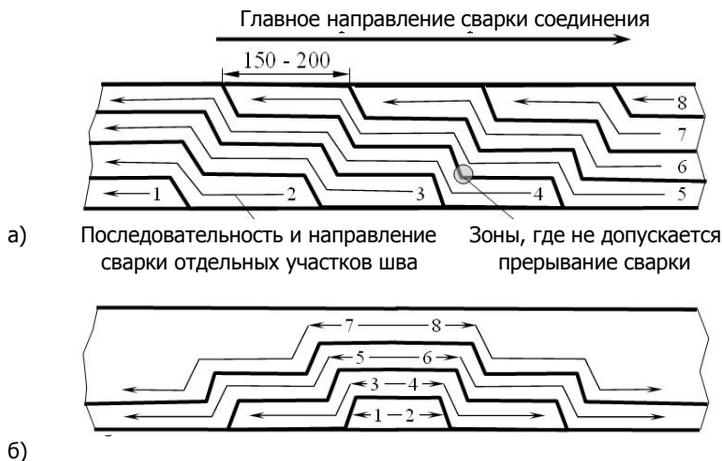


Рис.3.12. Заполнение разделки методом каскада (а) и горкой (б)

При ремонте деталей с толщиной стенки более 20-25 мм для предотвращения образования трещин заполнение разделки необходимо производить с малым интервалом времени между наложением отдельных слоев. С этой целью применяют сварку каскадным методом (рис.3.12, а) или горкой (рис.3.12, б). Эти методы являются разновидностью обратноступенчатого метода сварки по механизму управления полями собственных напряжений и позволяют значительно уменьшить величину остаточных сварочных напряжений в поперечном направлении.

3.8. Создание буферных слоев

Эффективным методом снижения уровня остаточных напряжений в зоне ремонта и уменьшения вероятности появления трещин является технология наплавки буферных слоев на свариваемые кромки при ремонте конструкции.

Буферные слои являются промежуточными прослойками между основным и наплавленным металлом. Они позволяют:

- обеспечивать хорошую связь с основным металлом;
- избегать водородного растрескивания;
- минимизировать образующиеся сварочные напряжения;



Машины и автоматизация сварочного производства

- избежать образования трещин при сварке (наплавке) последующих твердых слоев;
- предотвращать распространение трещин из поверхностного слоя в основной металл.

В зависимости от марки основного металла могут рекомендоваться разные типы буферных слоев. Наиболее часто в качестве материала буферного слоя используют наплавочные материалы с аустенитной структурой.

Использование буферных слоев рекомендуется при ремонте конструкций из сталей с ограниченной свариваемостью. К таким сталям относятся: высокоуглеродистые, высокопрочные, инструментальные, пружинные, теплоустойчивые, износостойкие стали и ряд других.

Чтобы избежать водородного растрескивания в зоне термического влияния, эти стали свариваются при определенных скоростях нагрева и охлаждения.

В некоторых случаях при сварке отсутствует возможность осуществить предварительный подогрев и последующее замедленное охлаждение. Тогда применяются электроды на основе аустенитных сталей или электроды на основе никеля. При этом риск образования трещин снижается, благодаря повышенному растворению водорода и высокой пластичности наплавленного металла.

Наплавку буферных слоев используют для сварки разнородных материалов (например, медь со сталью), при ремонте чугунных изделий, при ремонте изношенных слоев режущего инструмента, пресс-форм, штампов и др.

Например, фирма ЭСАБ рекомендует при ремонте режущей кромки вырубного пуансона провести предварительную подготовку кромки для обеспечения достаточной толщины наплавленного слоя и плавного очертания контура наплавляемой поверхности, так как все наплавляемые режущие кромки и изношенные поверхности инструмента требуют как минимум двух проходов наплавочными электродами. При этом следует избегать острых углов в зоне сварки.

Перед сваркой необходим предварительный подогрев до температуры 200-250°C, в зависимости от содержания углерода в основном металле. Его следует проводить в печи, так как это позволяет контролировать и корректировать температуру более легко, чем при использовании газовой горелки.

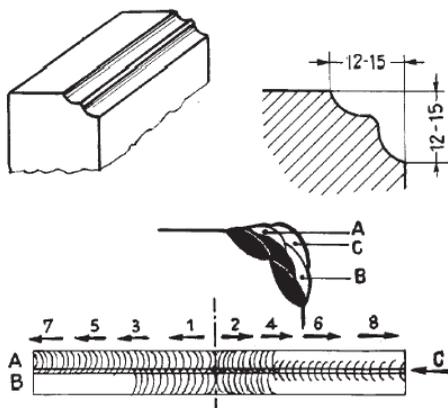


Рис.3.13. Пример ремонта режущей кромки вырубного штампа⁴

Предварительный подогрев является необходимым при сварке инструментальных сталей, особенно при сварке инструментов сложной конструкции. После сварки важно обеспечить медленное понижение температуры детали до минимальной.

При ремонте конструкций из сталей, имеющих ограниченную свариваемость, рекомендуется наложение одного или двух проходов буферного слоя толщиной около 4 мм с использованием аустенитных электродов, например, электродов ОК 68.82 ($C=0,1$; $Cr=29$; $Ni=10$) фирмы ЭСАБ.

Затем производится упрочняющая наплавка не более чем за три прохода электродами ОК 93.06 ($C=0,1$; $Si=0,9$; $Mn=1,0$; $Cr=28$; $W=4,5$; $Fe=3,0$; Co – ост.) фирмы ЭСАБ (рис.3.13).

После сварки необходимо обеспечить медленное охлаждение с последующим отпуском, который проводится приблизительно при той же температуре, что и температура предварительного подогрева, однако ни температура отпуска, ни температура предварительного подогрева не должны превышать температуры отжига.

⁴ Пример взят из справочника «Сварка и наплавки (пособие по выбору наплавочных материалов ESAB)».



4. РЕМОНТ ДЕФЕКТНЫХ УЧАСТКОВ СВАРНЫХ ШВОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Подготовка к ремонту дефектных участков сварных соединений

Критерии допустимости дефектов сварных соединений при ремонте основываются на требованиях, предусмотренных проектной и нормативной документацией, в технологических картах на сварку и контроль.

Подготовка к ремонту дефектных участков сварных соединений осуществляется следующим образом:

- по результатам неразрушающего контроля отмечают на соединении место расположения и тип дефекта. Место ремонта и номер ремонтируемого соединения должны быть указаны контролёром;

- разметку дефектного участка производят кернением, маркером или чертилкой. Для гарантированного удаления всей дефектной зоны длина участка вышлифовки должна быть больше длины дефекта не менее чем на 20 мм в каждую сторону.

Дефекты, которые подлежат ремонту, должны быть удалены полностью. При удалении металла в зоне дефекта одновременно формируют разделку кромок для сварки. Выборку локальных дефектных зон (длиной до 300 мм) и всех поверхностных дефектов целесообразно выполнять механическим способом или механизированной шлифовкой абразивным инструментом (высокооборотными шлифовальными машинками с армированными кругами). Удаление внутренних протяженных дефектных участков сварных швов рекомендуется выполнять воздушно-дуговой строжкой с последующим удалением науглероженного слоя механическим способом [11]:

- на углеродистых и низколегированных сталях до металлического блеска;

- на сталях типа 12МХ, 12ХМ, 15ХМ на глубину не менее 1 мм;

- на сталях типа 15Х5М, 1Х2М1 на глубину не менее 3 мм, считая от наибольшей впадины реза.

Запрещается выплавлять дефекты электродами для ручной дуговой сварки.



Исправляемый участок после выборки металла следует контролировать визуально, цветной или магнитопорошковой дефектоскопией с целью проверки полноты удаления дефекта.

При выборке несовершенств (дефектов) в сварных швах форма разделки кромок в зоне удаления дефектного участка должна быть максимально приближена к форме, заданной в проекте.

Технология ремонта дефектных участков сварного шва во многом зависит от типа дефекта, его расположения в сварном шве, расположения на конструкции и может классифицироваться по следующим видам:

- вид 1 – ремонт поверхностных дефектов в облицовочном слое или в зоне перехода от шва к основному металлу стыкового или углового шва;
- вид 2 – ремонт внутренних дефектов путём частичной выборки шва;
- вид 3 – ремонт внутренних дефектов в соединениях путём полной выборки шва (выполняется сквозной пропил).

4.2. Ремонт поверхностных дефектов в облицовочном слое шва без удаления металла

Поверхностные дефекты, размеры которых превосходят допустимые, устраняют путем зачистки абразивным инструментом (ручной шлифовальной машинкой), при необходимости, с последующей наплавкой металла на дефектный участок. Например:

- участки швов с завышенной выпуклостью устраняют шлифовкой до получения требуемой выпуклости шва;
- участки швов с грубой чешуйчатостью зашлифовывают до получения гладкой поверхности шва. Если при этом образовалась вогнутость шва, то выполняют ремонтный сварной шов;
- если не полностью заплавлен кратер, зону кратера необходимо зашлифовать на длине 30-50 мм и подварить. Шов в зоне ремонта следует зашлифовать до получения гладкой поверхности;
- участки шва с заниженным размером катета или ослабленным сечением необходимо зашлифовать и подварить до получения требуемых размеров шва, предусмотренных проектом;
- участки швов с подрезами глубиной до 0,5 мм зашлифовывают с обеспечением плавного сопряжения шва с основным металлом без последующей подварки;
- на швах с подрезами глубиной более 0,5 мм вначале производят выборку канавки глубиной 2-3 мм, возможно, с частичным удалением утолщения шва, затем выполняют ремонт облицовочного



Машины и автоматизация сварочного производства

шва ручной дуговой сваркой электродами диаметром 2,5-3,2 мм или механизированной сваркой проволокой диаметром 1,0-1,2 мм.

Ориентировочные режимы ручной дуговой и механизированной сварки при ремонте облицовочных слоев шва приведены соответственно в табл.4.1 и табл.4.2.

Таблица 4.1

Ориентировочные режимы ручной дуговой сварки при ремонте поверхностных дефектов сварных швов [11]

Толщина стенки, мм	Сварочные слои	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
До 10 вкл.	1, 2-й	2,5	70-90
	и последующие	3,2	90-100
Более 10	1, 2-й	3,0	80-90
	и последующие	3,2	90-110

Таблица 4.2

Ориентировочные режимы механизированной сварки в углекислом газе стыковых, угловых и тавровых соединений, выполняемых проволокой СВ-08Г2С Ø1,2 мм [11]

Пространственное положение шва	Слой шва	Сварочный ток*, А	Напряжение дуги, В	Вылет электрода, мм	Примечание
Нижнее	Корневой	140-210	19-22	10-15	Расход CO ₂ устанавливается в зависимости от скорости ветра
	Заполняющий	180-320	20-28		
	Облицовочный	160-320	20-28		
Вертикальное	Корневой	140-180	19-22		
	Заполняющий	160-220	19-24		
	Облицовочный	140-160	19-22		
Горизонтальное	Корневой	160-180	19-22		
	Заполняющий	240-300	22-26		
	Облицовочный	160-220	20-25		
Потолочное	Все	140-160	18-20		

* Сварка выполняется на постоянном токе обратной полярности

При ремонте сварного шва возбуждение дуги должно проводиться в пределах ширины ремонтируемого участка, начинать или завершать сварку на основном металле не допускается.

После окончания сварки шлак с облицовочного слоя шва рекомендуется удалять только после полного его остывания.

Для уменьшения концентрации напряжений и увеличения долговечности отремонтированного участка шва целесообразно зону ремонта зашлифовать, обеспечивая плавное сопряжение металла шва с основным металлом.

Участки шва с порами, выходящими на поверхность, необходимо зашлифовать до полного удаления пористости. Проконтролиро-



вать зону шва цветной дефектоскопией, чтобы убедиться в том, что дефекты удалены полностью. Затем заварить дефектный участок шва на режимах, указанных в табл.4.1 или 4.2. После сварки необходимо зашлифовать шов на отремонтированном участке для получения плавного сопряжения металла шва с основным металлом.

Случайные ожоги поверхности основного металла сварочной дугой или брызгами должны быть зашлифованы абразивным инструментом на глубину до 0,5 мм.

4.3. Ремонт дефектов сварных соединений с частичной выборкой (удалением) металла шва

Стыковые и угловые швы, содержащие внутренние дефекты, например, поры, шлаковые включения, свищи, непровары, различные несплавления, в заполняющих слоях допускается ремонтировать путём частичной выборки и последующего заполнения разделки сваркой.

Перед удалением металла дефектного участка независимо от температуры окружающей среды должна быть проведена просушка поверхности сварного соединения газопламенными нагревательными устройствами. Просушка проводится при температуре 50-70°C в зоне шириной не менее 100 мм. Длина зоны нагрева должна выходить за пределы границ предполагаемой выборки также не менее чем на 100 мм. После просушки перед выполнением несквозной выборки усиление облицовочного шва рекомендуется удалить механическим способом «заподлицо» с основным металлом с плавным выходом на усиление сварного шва на расстояние не менее 15 мм от границ предполагаемой выборки. Несквозную выборку единичных или групповых внутренних дефектов желательно выполнять шлифовальной машинкой, абразивными армированными кругами или фрезерованием до получения необходимой формы и параметров выборки. Минимальная длина выборки должна быть не менее 30 мм (по дну выборки) без учёта расстояний плавного выхода на наружную поверхность. Форма и параметры выборки участка шва с внутренними дефектами приведены на рис.4.1 [20, 21].

Выборка в сварном шве должна иметь:

– в продольном сечении – чашеобразную форму с плавным выходом на наружную поверхность сварного шва. При этом длина

выборки должна превышать фактическую длину дефектного участка не менее чем на 30 мм в каждую сторону;

– в поперечном сечении – U-образную форму с симметричной или несимметричной формой выборки с остаточной толщиной стенки не менее 3-4 мм.

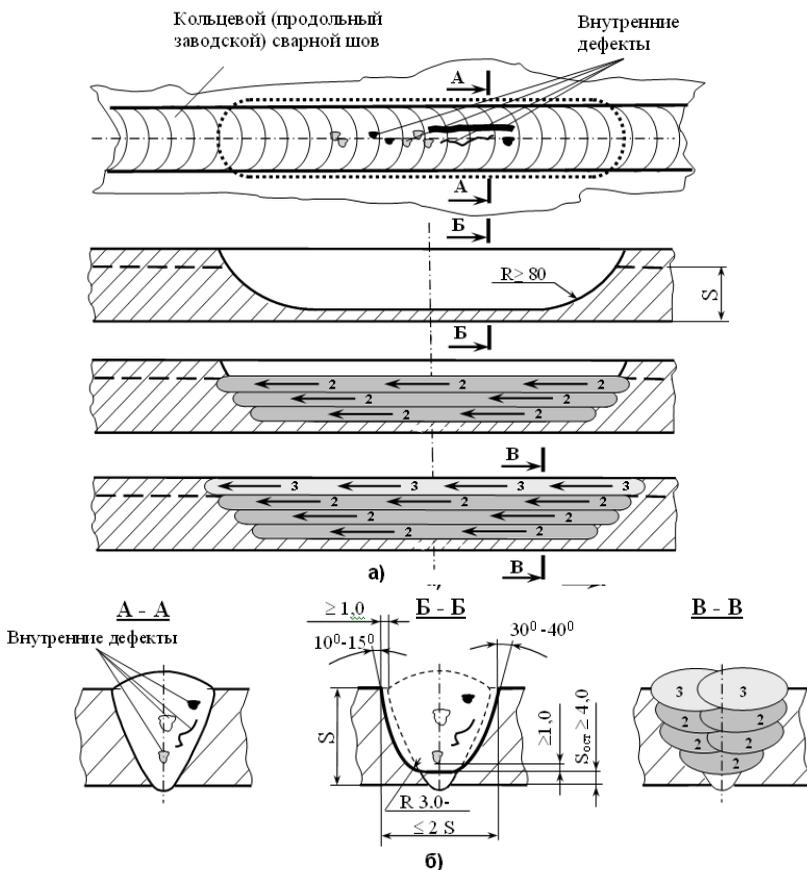


Рис.4.1. Форма и параметры выборки дефектного участка сварных швов, последовательность и направление слоёв шва, параметры сварного шва при заварке несквозной выборки: а – сечение вдоль выборки; б – поперечное сечение выборки

Выборка ремонтируемого участка шва должна захватывать зону термического влияния и выходить на основной металл не менее чем на 1,0 мм по обе стороны от шва. Угол скоса каждой кромки симметричной выборки должен составлять 25-30°.



Машины и автоматизация сварочного производства

При ремонте горизонтальных швов на вертикальной плоскости выполняется несимметричная выборка, показанная на рис.4.2. Угол скоса кромки на нижней детали должен быть в интервале от 10 до 15°, а на верхней – в интервале от 30 до 40°.

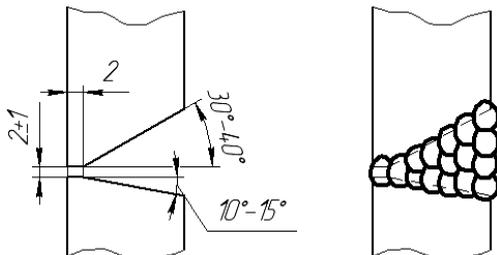


Рис.4.2. Форма и параметры выборки горизонтального шва на вертикальной плоскости

Наружные поверхности кромок, прилегающие к границам выборки, должны быть зачищены до металлического блеска на ширину 10-15 мм. Выборка (вышлифовка) должна обеспечивать полное удаление дефектов, при этом глубина выборки не должна превышать глубину дефектов более чем на 2,0 мм.

После выполнения выборки должен быть проведён визуальный, измерительный и капиллярный контроль (цветная дефектоскопия) подготовленных к сварке (заварке) кромок.

До начала сварки необходимо удалить с поверхности выборки пенетрант, краску и следы других материалов, применявшихся для цветной дефектоскопии, путём промывки ацетоном либо уайт-спиритом или абразивной зачисткой. Перед сваркой необходимо выполнить предварительный подогрев ремонтируемого участка до температуры 100-130°C на расстоянии не менее 100 мм от его границ.

Ручную дуговую сварку при ремонте дефектных участков следует выполнять электродами с основным видом покрытия. Назначение сварочных электродов должно выполняться исходя из классов прочности сталей ремонтируемого объекта. Прочность металла сварного шва не должна уступать прочности основного металла.

При выполнении ремонтных работ для сварки заполняющих и облицовочного слоёв шва рекомендуется применять электроды диаметром 3,0-4,0 мм.

Ручная дуговая сварка электродами с основным видом покрытия выполняется постоянным током обратной полярности, реко-



мендуемые режимы сварки в зависимости от положения шва в пространстве приведены в табл.4.3 [20, 21].

Таблица 4.3

Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки для ремонта электродами с основным покрытием [20]

Слои шва	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток (А), положение при сварке		
		нижнее	вертикальное	потолочное
Заполняющие:	3,0-3,25	90-120	90-110	80-110
- первый	3,0-3,25	100-120	90-110	80-110
- последующие	4,0	130-180	110-170	110-150
Облицовочные	3,0-3,25	100-120	90-110	80-110
	4,0	130-180	110-170	110-150

Возбуждение дуги при заварке дефектов следует выполнять только на поверхности металла внутри разделки кромок.

Сварку (заварку) каждого слоя следует производить узкими валиками. Швы должны выполняться с перекрытием валиков 2-3 мм. Ширина валиков первых заполняющих слоёв должна быть 4,0-6,0 мм, последующих валиков заполняющих слоёв – 8,0-10,0 мм, облицовочных – 10,0-12,0 мм.

Заварку выборок длиной 200-250 мм рекомендуется выполнять «на проход». Направление выполнения четных и нечетных слоёв необходимо выполнять в противоположные стороны.

При длине выборки 250-700 мм и глубиной до 20 мм заварку рекомендуется выполнять «на проход» от середины к краям. При больших длинах выборки все заполняющие и облицовочные швы рекомендуется выполнять обратноступенчатым способом по всей длине выборки (см. рис.3.10).

Для получения положительных результатов переход от одной ступени к последующей необходимо производить быстро, т.е. так, чтобы каждая последующая ступень сваривалась, пока температура металла предыдущей ступени не снизилась ниже 200-250°C.

Сварка (заварка) дефектных участков с несквозной выборкой должна выполняться без перерывов одним сварщиком с пооперационным контролем качества выполнения каждого слоя шва. Однако при длине выборки более 1000 мм сварку рекомендуется выполнять одновременно двум сварщикам обратноступенчатым методом от середины к краям.



При выполнении ремонтных швов с большой глубиной выборки (более 20 мм) рекомендуется выполнять сварку каскадом или горкой (рис.3.12).

4.4. Ремонт сквозных дефектов сваркой

Подготовка дефектного участка к заварке начинается с уточнения границ дефектов, выявления возможных расслоений металла, поверхностных и внутренних дефектов в шве, для чего производится визуальный, измерительный, радиографический или ультразвуковой контроль. Кромки металла в зоне ремонта не должны иметь расслоение металла на расстоянии не менее 100 мм от контура предполагаемой выборки.

При толщине стенки, выходящей за пределы минусового допуска, или обнаруженном расслоении металла ремонт сваркой дефектного участка не допускается и весь участок с дефектами подлежит удалению. При отсутствии дефектов в ремонтируемой зоне произвести разметку контура выборки. Границы контура выборки должны быть прямолинейной формы с параллельными границами и округлёнными углами.

Перед выборкой дефектного участка независимо от температуры окружающего воздуха должна быть проведена просушка ремонтируемого участка при температуре 50-70°C на расстоянии не менее 100 мм по контуру от границ предполагаемой выборки.

После просушки поверхности металла перед выполнением сквозной выборки усиление наружного облицовочного шва должно быть удалено механическим способом «заподлицо» с основным металлом с плавным выходом на усиление сварного шва на расстояние не менее 15 мм от границы предполагаемой выборки.

Опыт показывает, что трещины, обнаруженные в металле шва, могут увеличиваться по длине под влиянием напряжений, возникающих в результате действия термического цикла сварки. В некоторых случаях трещины могут развиваться мгновенно, что возможно, например, при понижении температуры металла, а также при заварке без соответствующей подготовки. Поэтому перед выборкой дефектного участка необходимо высверлить на концах обнаруженной трещины отверстия диаметром 5-25 мм на расстоянии не менее половины диаметра отверстия, чтобы предотвратить её возможное дальнейшее развитие. Выбор диаметра сверла зависит от вида конструкции, тол-



щины металла и расположения трещины в конструкции. При толщине металла не более 20 мм и свободном доступе к трещине с двух сторон, когда концы её легко выявить, рекомендуется сверлить отверстие диаметром 5-6 мм с последующей его раззенковкой на угол 60° , как показано на рис.4.3. Выборку дефектного участка следует выполнять механическим способом шлифовальной машинкой с набором абразивных кругов или пневмозубилом (или механической фрезой) для получения необходимой формы выборки. Наружные поверхности кромок, прилегающие к границам выборки, должны быть зачищены дисковыми проволочными щётками до металлического блеска.

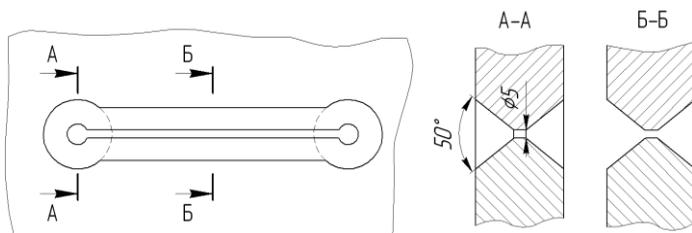
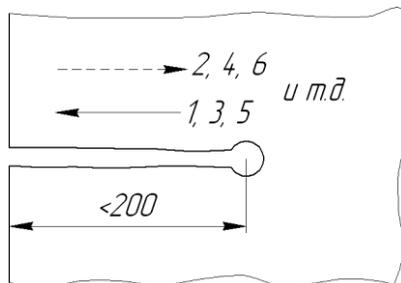


Рис.4.3. Форма разделки под сварку сквозной трещины

Если трещина выходит на свободную кромку конструкции (рис.4.4), то для обеспечения качества ремонта в начале ремонтного шва рекомендуется установить заходные планки, которые должны иметь форму разделки кромок, аналогичную разделке кромок в ремонтируемой зоне, длина планок составляет 40-50 мм.

Трещины с выходом на свободную кромку длиной до 200 мм заваривают «на проход» изменяя направление сварки попеременно в обе стороны, как показано на рис. 4.4. Первый и последующие нечётные проходы выполняют от отверстия к краю конструкции, а чётные наоборот.





Машины и автоматизация сварочного производства

Рис.4.4. Рекомендуемая последовательность выполнения сварных швов при заварке дефектных участков, выходящих на свободную кромку, длиной менее 200 мм

При длине трещины более 200 мм (рис.4.5) рекомендуется сварку вести обратноступенчатым способом в направлении от отверстия к кромке листа.

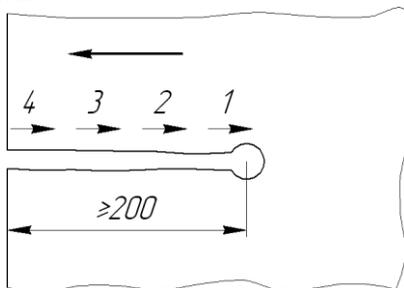


Рис.4.5. Рекомендуемая последовательность выполнения сварных швов при заварке дефектных участков, выходящих на свободную кромку, длиной более 200 мм

При заварке глубоких односторонних выборок (более 8 мм), выходящих на свободную кромку, для уменьшения поперечных напряжений и угловых деформаций можно рекомендовать их заполнение выполнять «блоками» или «перевязкой слоёв». Последовательность выполнения валиков соответственно показана на рис.4.6 и 4.7.



Рис.4.6. Последовательность наложения валиков при ремонте трещин, выходящих на свободную кромку, путём выполнения шва блоками

При сварке блоками концы валиков в соседних слоях не должны совпадать. Рекомендуется выдерживать расстояние между концами блоков в соседних слоях (перекрывание начала и конца швов) примерно 20-30 мм.



Машины и автоматизация сварочного производства

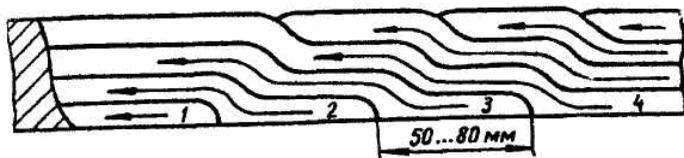


Рис.4.7. Последовательность наложения валиков при ремонте трещин, выходящих на свободную кромку, путём выполнения шва перевязкой слоёв

При выполнении шва перевязкой слоёв начало последующего слоя от предыдущего должно находиться на расстоянии 50-80 мм.

Швы со сквозными трещинами, не выходящими на свободные кромки (расположенные в средней части листа), длиной менее 400 мм можно сваривать как от середины к концам, так и от концов к середине, способом горка или каскадным, как показано на рис.3.12.

При ремонте трещин длиной более 1000 мм совмещают оба способа заполнения разделки – горкой и каскадный.

Длинные дефектные участки (более 1000 мм) при толщинах более 20 мм заваривают следующим образом. Вначале сваривают концевые участки в направлении от концов к середине выборки. Размеры концевых участков выбирают так, чтобы в средней части остался незаваренный участок длиной 300 – 400 мм, который заваривают в последнюю очередь способом «горка». Такая последовательность сварки способствует дополнительному расклиниванию зазора на участке замыкания шва и снижению уровня остаточных сварочных напряжений.

Если имеется доступ к ремонтируемому участку с двух сторон, то для того чтобы исключить появление дефектов в корне шва при ремонте, рекомендуется выполнить разделку кромок с двух сторон и подварить корень шва.

Ремонт дефектных участков швов следует проводить в соответствии со специально разработанными технологическими картами на ремонт. При этом в зависимости от глубины расположения дефекта должны быть даны указания, с какой стороны необходимо выполнить разделку кромок на большую глубину для гарантированного удаления дефектов с минимальным объемом удаляемого металла, и дана схема разметки выборки. Для оценки полноты удаления дефектной зоны следует использовать цветную дефектоскопию.

При выполнении ремонтных работ по устранению дефектов сварных соединений необходимо произвести предварительный подогрев зоны ремонта до 100-130°C независимо от температуры окру-



жающего воздуха. Допускается местный подогрев всего ремонтируемого участка. Перед началом сварки первого ремонтного слоя температура металла должна быть не менее 100°C.

В процессе сварки ремонтных швов следует контролировать межслойную температуру, которая должна быть не менее 50°C. В случае остывания зоны сварки следует выполнять сопутствующий подогрев до 100°C.

Отремонтированные участки сварных соединений должны быть повторно подвергнуты визуальному и измерительному контролю, ультразвуковой дефектоскопии или радиографии. Если на отремонтированном участке шва вновь будут выявлены недопустимые дефекты, ремонт таких участков должен выполняться под непосредственным контролем руководителя сварочных работ.

Возможность повторного ремонта одних и тех же участков конструкции ограничивается соответствующей нормативной документацией. Во многих случаях одни и те же участки не допускается ремонтировать более двух раз.

Все сведения о выполнении ремонта дефектов сварных швов должны быть занесены в журнал пооперационного контроля качества монтажно-сварочных работ или в паспорт ремонтируемой конструкции.

4.5. Ремонт кольцевых соединений трубопроводов при монтаже

Магистральные нефте- и газопроводы относятся к числу опасных технических устройств, разрушение которых может сопровождаться серьезными экологическими последствиями, материальными потерями и человеческими жертвами. Поэтому технология выполнения сварочных работ при монтаже и ремонте таких конструкций строго регламентируется соответствующими нормативными документами.

Как правило, ремонт дефектов сварных соединений трубопроводов, возникающих при монтаже, рекомендуется осуществлять ручной дуговой сваркой электродами с основным видом покрытия или механизированной сваркой.

Допускается ремонт следующих дефектов: шлаковых включений; пор; непроваров; несплавлений; подрезов; трещин длиной не более 1/6 периметра трубы.



Машины и автоматизация сварочного производства

Суммарная длина участков шва с недопустимыми дефектами на одном стыке не должна превышать $1/6$ его периметра. Максимальная длина одновременно ремонтируемого участка допускается:

- 300 мм – для стыков труб диаметром 720-1220 мм;
- 270 мм – для стыков труб диаметром 530 мм;
- 200 мм – для стыков труб диаметром 426 мм.

В тех случаях, когда длина дефектного участка превышает допустимые размеры, выполнять ремонт не допускается. Сварной стык подлежит полному удалению и на его место должен быть установлен отрезок трубы «катушка», минимальная длина которого превышает диаметр трубы. Катушку присоединяют к трубопроводу двумя параллельными швами.

Ремонт стыков труб диаметром до 1020 мм осуществляют только снаружи. Кольцевые стыки труб диаметром 1020 мм и более допускается ремонтировать как с наружной стороны, так и изнутри, в зависимости от глубины залегания дефекта и возможности доступа к стыку изнутри трубы.

Ремонт изнутри трубы можно рекомендовать в том случае, если дефекты расположены в корневом слое шва и диаметр трубы равен или более 1020 мм.

Ремонт дефектов корневого слоя шва кольцевых стыков диаметром менее 1020 мм выполняется снаружи со сквозным пропилом. В этом случае должна быть обеспечена U-образная выборка части шва с углом раскрытия кромок $50-60^\circ$ до глубины, равной суммарной толщине стенки трубы и высоты обратного валика, за вычетом 1,5-2,5 мм с последующим сквозным пропилом шлифовальным кругом толщиной 2,5-3,0 мм. Границы выборки (разделки кромок) на ремонтируемом участке должны быть прямолинейными и параллельными.

Аналогичная схема ремонта в исключительных случаях, связанных с невозможностью доступа к ремонтируемому участку изнутри трубы, может быть использована для стыков диаметром 1020 мм и более.

При ремонте заполняющих слоев шва производится частичная U-образная выборка по глубине шва с углом раскрытия кромок $50-60^\circ$.

При ремонте подрезов или пор, выходящих на поверхность, выполняется вышлифовка части сечения соответствующего ремонтируемого слоя заподлицо с трубой (см. п.4.2). Ширина вышлифовки устанавливается таким образом, чтобы ширина ремонтируемого шва не вышла за пределы допустимой величины (габаритов шва). Ремонт



дефектов данного вида выполняется наложением одного - двух валиков. Допускается увеличение ширины шва на участке ремонта не более чем на 2 мм.

При выборке дефектов с наружной стороны трубы ширина раскрытия кромок должна быть на 2-4 мм меньше ширины облицовочного слоя, а при выборке дефектов изнутри трубы ширина раскрытия кромок должна составлять не более 7 мм.

Выборка дефектных участков длиной до 200 мм осуществляется механическим способом с помощью абразивных кругов. Для удаления дефектных участков длиной более 200 мм допускается производить выборку с применением воздушно-дуговой строжки с последующим удалением не менее 1 мм поверхности выборки и зачисткой до металлического блеска абразивным инструментом.

Подготовку к ремонту осуществляют следующим образом:

- по результатам неразрушающего контроля отмечают на стыке место расположения и тип дефекта. Номер ремонтируемого стыка и место ремонта должны быть указаны дефектоскопистом несмываемым маркером;

- руководитель ремонтных работ и дефектоскопист производят разметку дефектного участка под вышлифовку. Длина участка вышлифовки должна превышать фактическую длину наружного или внутреннего дефекта не менее чем на 20 мм в каждую сторону. Глубина вышлифованного участка должна быть равна глубине залегания дефекта плюс 1-2 мм;

- руководитель ремонтных работ должен убедиться в том, что в процессе подготовки участка шва к ремонту дефекты вскрыты и удалены полностью.

Перед началом сварки ремонтируемого участка следует выполнить обязательный предварительный подогрев до температуры 100^{+30} °С независимо от температуры окружающего воздуха и толщины стенки трубы.

Для наружных или внутренних дефектных участков длиной менее 100 мм допускается местный подогрев однопламенной горелкой снаружи трубы. В других случаях необходим равномерный предварительный подогрев всего периметра стыка кольцевой газовой горелкой.

Перед началом сварки первого ремонтного слоя температура металла должна быть не менее 100 °С.

Ручная дуговая сварка в процессе ремонта кольцевых стыков труб с толщиной стенки до 10 мм включительно осуществ-



ляется электродами с основным видом покрытия диаметром 2,5 мм и 3,0/3,2 мм, а с толщиной стенки свыше 10 мм – диаметром от 2,5/3,0 мм до 4,0 мм.

В процессе сварки следует контролировать межслойную температуру, которая должна быть не менее +50° С. В случае остывания зоны сварки следует выполнить сопутствующий подогрев до 100⁺³⁰ °С.

Высота каждого слоя при заварке дефектного участка не должна превышать 3,5 мм. Рекомендуемая высота каждого слоя – 2,5-3,5 мм. Количество слоев при ремонте корневого или заполняющих слоев шва – не менее двух.

В процессе ремонта необходимо обязательно производить межслойную и окончательную очистку слоев шва от шлака и брызг, обращая внимание на то, чтобы исключить появление «карманов» и шлаковых включений между отдельными валиками и стенкой выборки. Облицовочный (или внутренний подварочный) слой шва должны быть подвергнуты чистовой обработке щёткой, шлифовальным кругом и/или напильником для сглаживания грубой чешуйчатости и улучшения формы шва. Следует также удалить брызги с прилегающей поверхности трубы.

Ремонт сварных стыков трубных секций на трубосварочных базах следует производить в удобном для выборки дефекта и сварки пространственном положении.

Ремонтные работы на стыке должны осуществляться от начала до конца без длительных перерывов.

Все отремонтированные участки стыка подвергаются визуально-измерительному и неразрушающему контролю, регламентированному для данного вида работ нормативными документами.

Повторный ремонт на одном и том же участке шва не разрешается. В этом случае стык следует вырезать и варить катушку.

К ремонтным работам допускаются аттестованные сварщики ручной дуговой сварки, успешно прошедшие допускные испытания по выполнению ремонтных работ в соответствии с аттестованной технологией.

Ремонт дефектного участка на стыке от начала до конца должен выполнять один сварщик.



5. РЕМОНТ КОНСТРУКЦИЙ С ЗАМЕНОЙ ПОВРЕЖДЕННОГО УЧАСТКА

5.1. Подготовка конструкции с поврежденными участками к сварке

Ремонт, предполагающий удаление всего поврежденного участка и последующую замену его новым конструктивным элементом, производят в тех случаях, когда другие методы невозможны или не являются экономически эффективными, когда применение других методов ремонта не позволяет восстановить эксплуатационные свойства конструкции.

К таким случаям можно отнести:

- недопустимое изменение геометрических параметров конструкции, например, недопустимое сужение проходного сечения нефтепровода из-за появления в период монтажа или эксплуатации глубоких вмятин, выпучен или гофр;
- наличие глубоких коррозионных, эрозионных или других повреждений площадью более 500 см², разветвленных, гнездообразных или пересекающихся трещин; расслоения металла в зоне предполагаемого ремонта;
- расположение дефектов в труднодоступных для выполнения ремонта участках конструкции;
- расположение поврежденных участков вблизи сварных соединений или участков, на которых ранее был выполнен ремонт с применением сварки (на таких участках пластичность металла может быть снижена в результате деформационного старения).

Если в результате технического диагностирования конструкции принято решение об удалении поврежденного участка или элемента конструкции с дефектом, то необходимо выполнить чертежи нового элемента и технологическую инструкцию по ремонту. Технологическая инструкция должна включать требования к подготовительным, сборочным, сварочным операциям, а также требования к режимам предварительного, сопутствующего подогрева и, если необходимо, к режиму термической обработки после сварки.

Важным является выбор требуемой разделки кромок ремонтируемой и заменяемой деталей, поскольку от формы разделки зависит объем наплавленного металла и трудоемкость сварки. Конструктивные элементы и размеры подготовки кромок, в зависимости от

используемого способа сварки (при ремонте наиболее часто используются ручная дуговая или механизированная сварка), должны соответствовать ГОСТ 5264-80, ГОСТ 14771-76 или др., а также отраслевой НД.

В зависимости от глубины залегания дефекта, толщины металла, пространственного положения дефектного участка, применяют двухсторонние (рис.5.1) и односторонние (рис.5.2) разделки кромок.

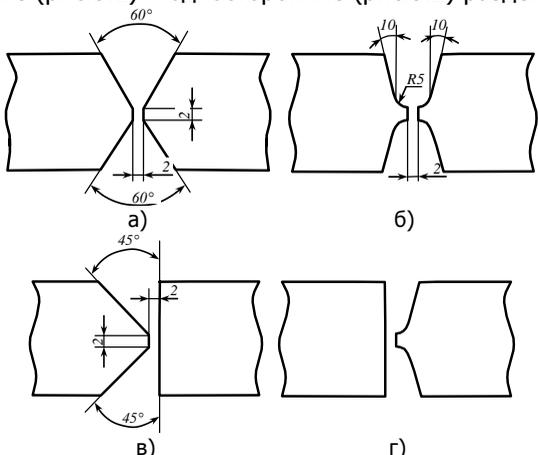


Рис.5.1. Двухсторонние разделки кромок под сварку:
а, б – симметричные; в, г – несимметричные

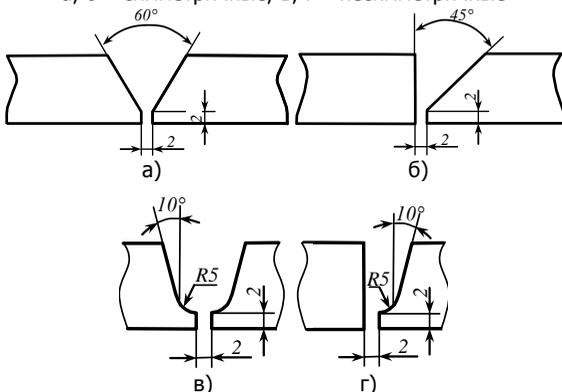


Рис.5.2. Односторонние разделки кромок под сварку:

а – скос обеих кромок; б – скос одной кромки; в – обе кромки U-образной формы;
г – скос одной кромки U-образной формы

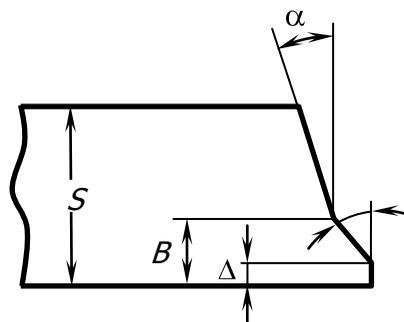
При доступности к месту сварки с двух сторон рекомендуются симметричные разделки кромок, так как в этом случае уменьшается требуемый объем наплавленного металла, сокращается время сварочных работ, снижается величина сварочных деформаций. Если кантовать конструкцию не представляется возможным, то появляется



необходимость выполнять сварку в потолочном положении, что увеличивает трудоемкость ремонта. Это особенно важно при выполнении сварочных работ внутри замкнутой конструкции (котла, сосуда, резервуара, аппарата и т.д.). В этом случае рекомендуется глубину разделки со стороны потолочного шва уменьшить или использовать одностороннюю разделку кромок.

Уменьшению объема наплавленного металла способствует применение фигурного профиля разделки кромок. Фигурную разделку кромок получают путем механической обработки на станках, поэтому такую разделку удобнее выполнять на заменяемых деталях.

С ростом толщины стенки ремонтируемых объектов эффективность применения J- ; U-образных и ломаных (рис.5.3) разделок возрастает [22, 23].



$$\alpha = 16^{\circ}_{-5^{\circ}} \quad \beta = 35^{\circ}_{-5^{\circ}} \quad \Delta = 1,8 \pm 0,8 \text{ мм}$$

Рис.5.3. Ломаная разделка кромок.

Величина B зависит от толщины стенки S : при $15 < S \leq 19$ мм величина $B=9$ мм;
при $19 < S \leq 22$ мм - $B=10$ мм; при $S > 22$ мм - $B=12$ мм

При замене дефектных элементов (патрубков, штуцеров, люков, лазов, накладок и т.п.) их вырезка и подготовка кромок для сварки новых элементов производится кислородной или плазменной резкой с последующей обработкой поверхности реза абразивным инструментом.

При наличии укрепляющего кольца швы его приварки к корпусу и штуцеру удаляются исключительно механическим способом (фрезами, абразивным инструментом и т.п.), при этом на сосудах или аппаратах, работающих под давлением, не допускаются выхваты основного металла глубиной более допуска на коррозию корпуса.

Кислородная резка и воздушно-дуговая строжка может производиться без подогрева при температуре окружающего воздуха не



ниже 0°C. При более низких температурах, но не ниже –20°C, применяется подогрев до 150-200 °C.

При температуре окружающего воздуха ниже –20°C кислородная резка и воздушно-дуговая строжка запрещаются.

При удалении заменяемых участков конструкций, выполненных из хромомolibденовых теплоустойчивых сталей, необходим местный подогрев до температуры 200-250°C, независимо от температуры окружающего воздуха.

По окончании подготовки дефектных мест под ремонтную сварку, с целью выявления расслоения металла производят ультразвуковой контроль стенки конструкции вокруг удаленной зоны поврежденного участка.

При ремонте конструкций на открытой площадке сварщик и место сварки должны быть защищены от воздействия ветра и атмосферных осадков.

При ремонте конструкций, работающих в водородосодержащих средах, подготовленные под сварку кромки рекомендуется для удаления водорода подогреть до 400°C с последующим охлаждением до температуры, при которой будет производиться сварка. Нагрев производить со скоростью 80-100°C в час с выдержкой при этой температуре 0,5 часа.

5.2. Рекомендации по сварке

При ремонте сварку и наплавку рекомендуется выполнять в режимах, представленных в табл.5.1.



Таблица 5.1.

Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки или наплавки электродами с основным видом покрытия

Слои шва	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток (А) в положении при сварке		
		нижнее	вертикальное	потолочное
Корневой	2,0-2,6	60-90	50-80	50-70
	3,0-3,25	90-120	90-110	80-110
Подварочный	3,0-3,25	90-120	90-110	80-110
	(4,0)	130-180	110-170	110-150
Заполняющие: - первый - последующие	3,0-3,25	90-120	90-110	80-110
	3,0-3,25	100-120	90-110	80-110
	4,0	130-180	110-170	110-150
Облицовочные	3,0-3,25	100-120	90-110	80-110
	4,0	130-180	110-170	110-150

Зажигание дуги должно производиться на заходных планках, поверхности разделки сварного соединения или на ранее наплавленном металле.

Перед гашением дуги сварщик должен заварить кратер путем отвода конца электрода на 15 - 20 мм в сторону противоположную направлению сварки. Места начала и окончания сварки, где наиболее вероятно появление дефектов, не должны совпадать. Смещение их друг от друга в каждом из последующих слоев должно быть не менее 20 - 25 мм. Прихватки под сварку и места окончания предыдущего валика должны прорезаться абразивным инструментом с помощью шлифовальной машинки с целью удаления кратера и создания плавного сопряжения от предыдущего валика к последующему.

С целью уменьшения напряжений и деформаций при выполнении ремонтных работ рекомендуется выполнять многопроходную сварку на режимах, обеспечивающих малую погонную энергию. Ориентировочное число проходов в каждом слое и число слоёв в соединении представлены в табл.5.2.

Таблица 5.2.

Ориентировочное количество слоёв и проходов (валиков) в сварных швах в зависимости от толщины листа (δ , мм) и формы разделки кромок

Форма разделки кромок	Толщина листа			
	$\delta = 16$	$\delta = 20$	$\delta = 24$	$\delta = 30$
X-образная симметричная	a=6; б=6	a=8; б=8	a=8; б=8	a=9; б=11
K-образная симметричная	a=7; б=7	a=8; б=8	a=8; б=10	a=11; б=13
Y-образная несимметричная	a=7; б=9	a=8; б=11	a=9; б=13	a=10; б=15
V-образная несимметричная	a=7; б=8	a=8; б=12	a=8; б=12	a=9; б=15

Примечание: а – слои; б – проход

В условиях жёсткого закрепления деталей и выполнения односторонней сварки для уменьшения поперечной усадки шва толстолистовой конструкции, разделку кромок рекомендуется заполнять, наплавляя валики параллельно одной из кромок в последовательности, указанной на рис.5.4.

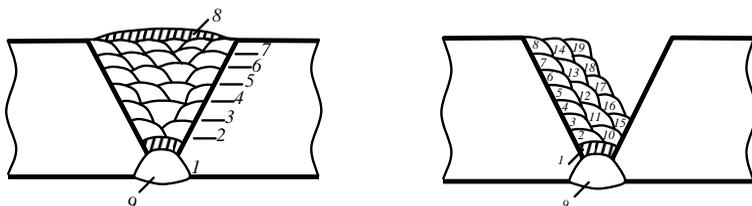


Рис.5.4. Рекомендуемая последовательность сварки стыка при односторонней разделке кромок

Швы, присоединяющие заплаты и патрубки при толщинах основного металла более 20 мм, рекомендуется выполнять способом каскад, горка, обратноступенчатым. Допускается использовать комбинированный способ, т.е. сварку корневой части производить обратноступенчатым способом, а оставшуюся часть сечения разделки выполнять способом горка.

При условном проходе (D_y) патрубка более 300 мм рекомендуется сварку вести одновременно двумя сварщиками.



Машины и автоматизация сварочного производства

При послойном заполнении разделки после наложения каждого слоя сварщиком производится зачистка кромок и поверхности наплавленного металла от шлака и брызг механическим способом (металлической щеткой, абразивным инструментом и т.п.) со стопроцентным визуальным контролем. При этом обнаруженные дефекты должны быть исправлены в процессе сварочной операции.

Усиления швов на наружных и внутренних поверхностях, подрезы и другие концентраторы напряжений должны быть зачищены механическим способом для обеспечения плавного перехода от металла шва к основному металлу.

Сварные соединения следует выполнять без перерыва до полного заполнения разделки. При вынужденных перерывах допускается оставлять сварные соединения незаконченными при условии заполнения не менее половины сечения разделки. При возобновлении сварочных работ необходимо осуществить предварительный подогрев.

Все отремонтированные сварные швы подлежат клеймению, выполняемому до проведения термической обработки, что позволяет установить сварщика, выполнявшего эти швы. Клеймо наносится ударным способом на расстоянии 20-50 мм от кромки сварного шва. Допускается вместо клеймения сварных швов прилагать к паспорту конструкции схему расположения швов с указанием фамилий сварщиков с их подписью.

По окончании ремонтных работ должен быть выполнен контроль всех сварных соединений как до, так и после термической обработки.

Термическая обработка (при необходимости) производится после окончательного устранения всех дефектов. В случае повторной заварки дефектное место должно быть вновь подвергнуто термообработке.

Местная термообработка проводится в соответствии с требованиями, изложенными в отраслевых нормативных документах. Так, например, корпуса аппаратов из сталей марок 12МХ, 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 20Х2ГНМ, 15Х5, Х8, 15Х5М, 15Х5ВФ, 12Х8ВФ, Х9М должны быть термически обработаны независимо от толщины стенки корпуса.

Корпуса аппаратов из углеродистых и низколегированных сталей, за исключением сталей, перечисленных выше, после ремонтной сварки подвергаются термообработке, если:



Машины и автоматизация сварочного производства

- толщина стенки корпуса более 36 мм для углеродистых сталей и более 30 мм для низколегированных марганцовистых и кремнемарганцовистых сталей (16ГС, 09Г2С, 17Г1С, 10Г2 и др.);

- предназначены для эксплуатации в средах, вызывающих коррозионное или сероводородное растрескивание.

В аппаратах, корпуса которых при изготовлении прошли термообработку, все вновь выполненные ремонтные сварочные швы подвергаются термообработке по режиму, указанному в паспорте на аппарат. При отсутствии указаний термообработку выполняют по следующему режиму:

- равномерный нагрев зоны сварных швов, выполненных при ремонте, до температуры:

620-650°C для сталей типа Ст3сп, 15К, 20К, 16ГС, 09Г2С;

710-730°C для сталей типа 12МХ, 12ХМ, 15ХМ;

740-780°C для сталей типа 15Х5М;

- выдержка при указанных температурах 2,5-3 часа;

- медленное охлаждение под слоем изоляции;

- скорость нагрева 100-150°C в час;

- скорость охлаждения 60-100°C в час.

Время выдержки ремонтных сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей после сварки до термообработки не ограничено. Статические и ударные нагрузки сварных соединений в этот период не допускаются. При отрицательных температурах окружающего воздуха сварные соединения из теплоустойчивых сталей (12ХМ, 15ХМ, 15Х5М и т.п.) должны быть термически обработаны непосредственно после сварки. При отсутствии такой возможности, после окончания сварки производится нагрев сварного соединения до 300-350°C с выдержкой 0,5-1,0 час (термический отдых), после чего время до термообработки не ограничивается при условии отсутствия статических или ударных нагрузок.

5.3. Предотвращение появления трещин в швах при замене поврежденной части конструкции вставками

При большой площади поврежденного участка, наличии разветвленных трещин или вмятин поврежденный участок удаляют и на его месте размещают вставку, конфигурация которой повторяет контуры удаленного участка конструкции.



Машины и автоматизация сварочного производства

При выполнении сварки вставки, заменяющей удаленную поврежденную часть конструкции, сварной шов формируется в условиях ограниченной возможности поперечного сокращения из-за высокой жесткости окружающих участков конструкции. В результате этого при охлаждении в металле шва могут возникать большие реактивные сварочные напряжения, способствующие появлению холодных трещин. Жесткость сварного соединения зависит от размеров вставки и ее расположения в ремонтируемой конструкции.

По расположению вставки в конструкции различают: вставки без свободных кромок (наиболее жесткие условия при сварке); с одной свободной кромкой; с двумя свободными кромками (наименее жесткие условия при сварке) (рис.5.5).

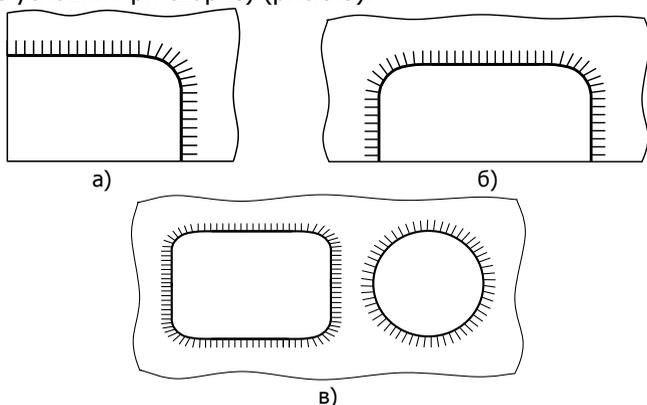


Рис.5.5. Разновидности листовых вставок: а – с двумя свободными кромками; б – с одной свободной кромкой; в – без свободных кромок

Все вставки ввариваются встык. Материал вставок должен соответствовать материалу конструкции. Форма вставок и монтажных окон формируется по кривизне ремонтируемого объекта. Толщина вставок, как правило, выбирается равной толщине конструкции, в отдельных случаях допускается толщина вставки на 2-3 мм больше толщины конструкции. Для уменьшения концентрации напряжений углы вставок закругляют. Радиус закругления должен быть не менее трёх толщин листа и не менее 50 мм.

С целью снижения реактивных напряжений, возникающих при сварке вставки и корпуса, их устанавливают и вваривают так, чтобы расстояние от вставки до сварных швов, имеющихся на конструкции, было не менее трех толщин и не менее 100 мм. Минимальный размер вставки в плане должен быть больше трех толщин, но не



менее 250 мм. Допускается вваривать круглую вставку диаметром d более двух толщин, но не менее 200 мм.

Разделку кромок выбирают таким образом, чтобы исключить швы, выполняемые в потолочном положении, или свести их объём к минимуму.

При сборке конструкции со вставками их лучше всего закреплять с помощью фиксаторов, которые могут быть в виде уголков, планок или прутков. Этот способ крепления обеспечивает свободное перемещение вставок при усадке швов и тем самым снижает уровень реактивных сварочных напряжений по сравнению с теми, которые могли бы возникнуть при их жёстком закреплении по контуру, например, с помощью прихваток.

Сварку ремонтируемой конструкции и вставки с двумя свободными кромками допускается выполнять без подогрева, если нет ограничений, связанных с химическим составом материала и температурой окружающей среды.

Вставку устанавливают с зазором 2-4 мм по каждой привариваемой стороне, как показано на рис.5.6. При горизонтальном расположении вставки фиксирующие элементы приваривают только к её верхней части. Если вставка устанавливается вертикально, то уголки, фиксирующие её положение, приваривают с двух сторон, для более надёжного её закрепления. Для фиксации ширины зазора допускается постановка прихваток длиной 40-80 мм с расстоянием между ними 250-300 мм. Рекомендуется ставить прихватки только между теми кромками, которые сваривают в первую очередь.

Последовательность сварки показана на рис. 5.6. Вначале сварку выполняют на участке D (участок с наибольшим ограничением податливости). Сварку выполняют горкой, затем обратноступенчатым способом (каскадом или блоками) выполняют швы от D в направлении вдоль участков A и B .

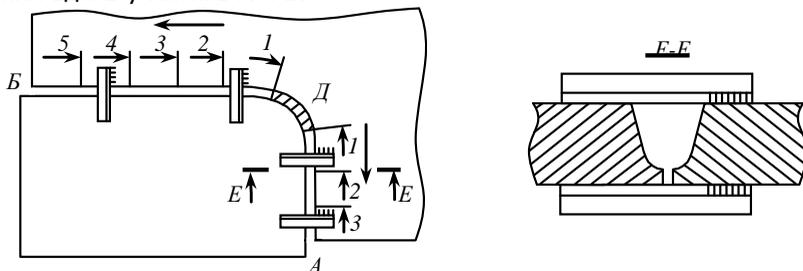


Рис.5.6. Сварка вставки с двумя свободными кромками без предварительного подогрева

В тех случаях, когда металл имеет повышенное эквивалентное содержание углерода или ремонт выполняют при низкой температуре в условиях монтажа, т.е. в условиях повышенной вероятности образования холодных трещин, участок шва с наименьшей податливостью (зона 3) необходимо подогреть до температуры 200-250°C.

Сборка вставки с конструкцией производится аналогично рассмотренному выше случаю. Порядок сварки и направление выполнения швов показаны на рис.5.7. Вначале сваривают обратноступенчатым методом более длинную сторону, в данном случае шов 1, в направлении от угла к выходу. После полного охлаждения шва 1 нагревают газокислородным пламенем зону Н до температуры 200-250°C. На заключительном этапе выполняют шов 2 вдоль более короткой стороны вставки так же обратноступенчатым методом в направлении от угла к выходу.

При сварке без подогрева ремонтируемой детали и вставки, имеющей одну свободную кромку, последнюю устанавливают по одной кромке без зазора и по двум кромкам с зазором 2-4 мм (рис.5.8). Свободная кромка должна выступать относительно конструкции на 2-4 мм с целью компенсации поперечных сварочных деформаций.

Установку вставки выполняют с помощью фиксаторов (уголков, планок и др. элементов показанных на рис.5.8, сечение Ж-Ж). Первым выполняют шов I (на участке Д) по кромкам, установленным с зазором. Участок Д сваривают способом горкой, затем обратноступенчатым способом одновременно выполняют швы 1-4 и 1-7 в направлении от Д к А и к Б. Такой порядок сварки позволяет металлу шва свободно сокращаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что уменьшает накопление реактивных сварочных напряжений.



Рис.5.7. Сварка вставки с двумя свободными кромками с предварительным подогревом

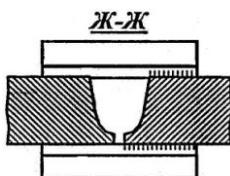


Рис.5.8. Схема ремонта постановкой вставки, имеющей одну свободную кромку, без предварительного подогрева

При сварке шва I (на участке между точками А Б) в результате усадки между кромками шва II должен образоваться зазор не менее 2 мм. Если зазор менее 2 мм, то его необходимо расширить, используя абразивный инструмент. В последнюю очередь сваривают шов II обратноступенчатым методом в направлении от Б к В.

Схема установки и порядок сварки вставки, имеющей одну свободную кромку, с использованием подогрева показаны на рис. 5.9. В этом случае все кромки вставки устанавливаются с зазором 2-3 мм и заваривают вначале в средней части шва 1 «горку», далее сварку ведут от горки к углам. После остывания и усадки шва 1 нагревают зону H до температуры, равной 200-250°C, и выполняют шов 2 обратноступенчатым способом в направлении от H к свободной кромке. Аналогично выполняется шов 3.

Нагрев металла в зонах H приводит к увеличению зазора на участке 1 и обеспечивает благоприятные условия для совместной усадки разогретых участков и сварного шва в момент охлаждения, что позволяет снизить реактивные напряжения и тем самым существенно уменьшает вероятность образования холодных трещин в шве.

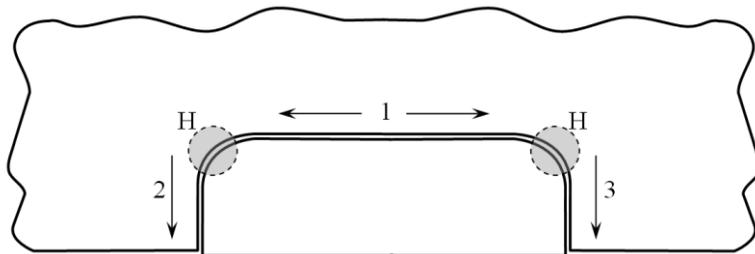


Рис.5.9. Схема установки и порядок сварки вставки, имеющей одну свободную кромку, с использованием подогрева

Схема сварки вставки, не имеющей свободных кромок, без подогрева показана на рис.5.10.



Машины и автоматизация сварочного производства

Вставку устанавливают с помощью фиксаторов (рис.5.10, сечение Ж-Ж). Весь шов по длине разбивается на две равные части I и II. На участке I (*АЕБ*) сборку кромок выполняют с зазором 2-4 мм. В угловой зоне шва I выделяют участок *Д*, на котором начинают процесс сварки горкой.

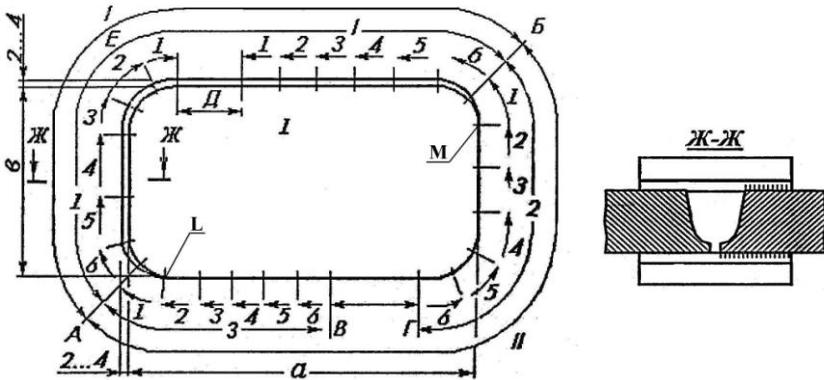


Рис.5.10. Схема ремонта постановкой вставки без свободных кромок

Участки *АД* и *БД* разбивают на равное число ступеней (каждая ступень должна иметь длину 200-250 мм). Сварку швов на этих участках выполняют одновременно обратноступенчатым способом. Такая последовательность обеспечивает свободную усадку швов *АД* и *БД*. После полного охлаждения швов за счет усадки металла шва I вдоль кромки *АВ* и *БГ* должен появиться зазор шириной около 2-4 мм. Если величина зазора менее 2 мм, то его следует довести до требуемой величины шлифовкой, подружкой или другим методом.

Далее в угловой части шва II выделяют участок замыкания шва *ВГ* длиной 200-250 мм. Участки *АВ* и *БГ* (примерно равные) разбивают так же на равное число ступеней (в данном случае на 6 ступеней). Швы на этих участках выполняют обратноступенчатым методом в направлении от *А* и *Б* к *В* и *Г*. На участке «замыкания» протекают значительные пластические деформации. Чтобы предотвратить образование трещин в этой зоне, необходимо устранить все факторы, вызывающие охрупчивание металла (дефекты в стыке, науглероживание, попадание влаги и др. загрязнения кромок), после чего выполнить последний шов на участке *ВГ*.

При вварке вставки в замкнутый контур для предотвращения образования холодных трещин и коробления конструкции (если она тонкостенная) следует придерживаться следующих рекомендаций.



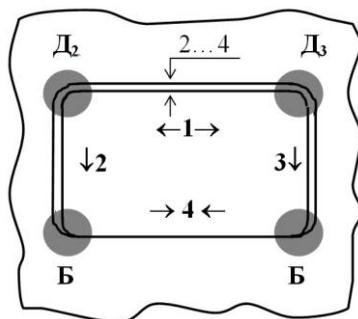
Для уменьшения объема наплавленного металла разделку кромок вставки и элемента конструкции необходимо выполнять по возможности с минимальным углом раскрытия, но так, чтобы обеспечить полный провар сварного соединения. Если есть доступ к вставке с двух сторон, то сварку следует выполнять двусторонними швами. При установке вставку необходимо закреплять фиксаторами, используя уголки или планки, приваривая их через 200-250 мм. При сборке зазор между кромками 1, 2 и 3 устанавливают 2-4 мм, а по кромке 4 – зазор нулевой. Этот способ крепления обеспечивает свободное перемещение вставки при усадке металла шва. Для фиксации ширины зазора между теми кромками, которые начинают сваривать первыми, делают прихватки длиной 40-80 мм на расстоянии 250-300мм.

Сварка вставок по замкнутому контуру создает условия для образования холодных трещин, поэтому рассмотренная технология применяется в исключительных случаях, когда свариваемый металл не склонен к появлению закалочных структур, толщина металла невелика, а условия сварки исключают насыщение металла околошовной зоны водородом.

На практике при ремонте методом замены части конструкции в большинстве случаев предпочтение следует отдавать технологии сварки с подогревом.

Схема сборки и порядок сварки вставки, не имеющей свободных кромок, с корпусом конструкции с подогревом показана на рис.5.11.

Рис.5.11. Технология сварки вставки без свободных кромок с предварительным подогревом: 1, 2, 3, 4 – сварные швы; Д₂, Д₃ – участки подогрева при сварке соответствующих швов; Б, Б – участки подогрева при сварке шва 4



Вначале выполняют шов 1 без подогрева обратноступенчатым способом в направлении от середины участка к углам вставки. После полного охлаждения шва 1 нагревают участок основного металла Д₂ до температуры 250 °С и заваривают шов 2 обратноступенчатым методом в направлении от Д₂ к Б. Тем же методом и в той же



последовательности выполняют шов 3. После выполнения швов 2 и 3 между кромками шва 4 должен появиться зазор 2-3 мм. Если зазор оказался менее 2 мм, то его следует довести до требуемой величины шлифовкой абразивными прорезными кругами. В последнюю очередь нагревают участки *Б* до температуры 250°C и выполняют шов 4 обратноступенчатым методом в направлении от середины к краям.

5.4. Ремонт с заменой поврежденной части конструкции вставками при затрудненном доступе к поверхности изнутри

Рассмотренные выше технологии ремонта путем установки заплат предполагали свободный доступ к ремонтируемому участку с двух сторон стенки конструкции, что значительно упрощало сборку под сварку.

При ремонте замкнутых конструкций типа оболочек малого диаметра возникают проблемы установки и закрепления заплат на ремонтируемой конструкции. Для таких случаев разработаны технологии ремонта с использованием овальных заплат с подкладками или с приваркой ложных патрубков.

Для ремонта с использованием заплат с подкладкой на месте поврежденного участка конструкции вырезают овальные отверстия. Меньшая ось овального отверстия или диаметр круглого отверстия должны быть не менее 200 мм. Разница длин большой и малой осей овального отверстия (заплаты) должна быть 50 ± 10 мм, большая ось овального отверстия должна располагаться вдоль образующей ремонтируемой оболочки (трубы, сосуда).

Перед началом ремонтных работ и с целью уточнения границ дефектного участка, на расстоянии не менее 100 мм от контура предполагаемого отверстия должен быть проведен визуальный, измерительный, ультразвуковой контроль основного металла. В случаях наложения контура предполагаемого отверстия на сварной шов дополнительно должен быть проведён радиографический и ультразвуковой контроль сварного шва в границах предполагаемого отверстия. Для ремонта конструкций с одной легко доступной стороны и обеспечения гарантии провара корня шва используют заплаты с подкладкой. Высокое качество сварки обеспечивается при условии плотного прилегания подкладного кольца заплаты к внутренней поверхности



изделия. Для выполнения этого условия можно рекомендовать использовать специальную струбцину и временный петлеобразный кронштейн, показанные на рис. 5.12. Его обычно изготавливают из одного или нескольких электродных стержней диаметром 4-5 мм или из проволоки диаметром 6,0-8,0 мм. Приварка временного кронштейна должна проводиться к кромкам заплата с последующим удалением мест приварки шлифовкой. Приварка временных кронштейнов к поверхности заплата не допускается.

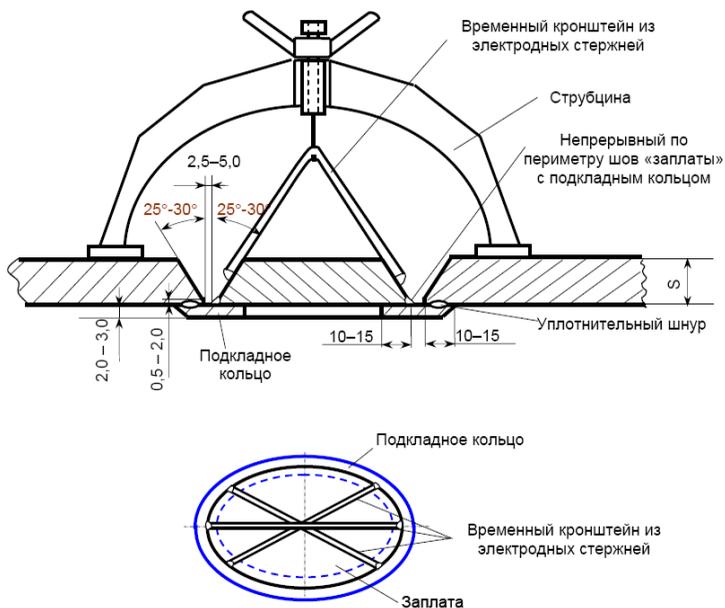


Рис.5.12. Сборка заплата с подкладным кольцом в отверстии с помощью струбцины и геометрические параметры разделки кромок заплата и отверстия

При сборке заплата с подкладным кольцом её следует устанавливать с равномерным зазором между кромками, при этом для толщин стенок заплата до 12 мм рекомендуется зазор 2,5-4,0 мм; для толщин свыше 12 мм – 3,5-5,0 мм. Ручную дуговую сварку заплата рекомендуют выполнять электродами с основным видом покрытия. Сварку по периметру корневого слоя шва заплата следует выполнять электродами диаметром 3 мм, не снимая специальной струбцины. После сварки корневого шва струбцину следует демонтировать, временные кронштейны удалить.

Сварку всех слоёв шва заплата следует выполнять обратнo-ступенчатым способом с симметричным наложением участков шва,

начало и конец выполняемого участка шва должны быть смещены от горизонтальной и вертикальной осей не менее чем на 30 мм, длина каждого участка шва должна составлять от 200 до 250 мм. Последовательность сварки швов заплата по толщине приведена на рис.5.13.

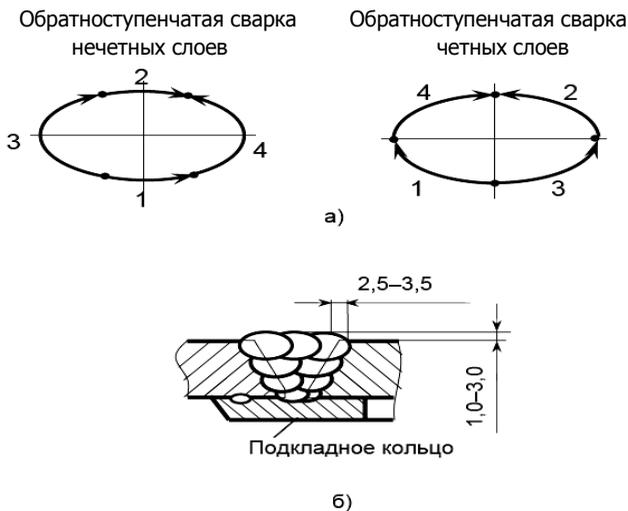


Рис. 5.13. Последовательность сварки заплата

Минимальное количество слоёв шва при вварке заплата зависит от её толщины. При толщине 7-12 мм количество слоёв шва 3; при толщине 12-15 мм количество слоёв 4; при толщине 15-18 мм – 5; при толщине 18-20 мм – 6. Величина наружного смещения заплата по отношению к поверхности не должна превышать $0,2S$, но не более 3 мм.

Рекомендации по размещению отверстия в зависимости от положения поврежденного участка относительно сварных швов конструкции приведены на рис.5.14.



Машины и автоматизация сварочного производства

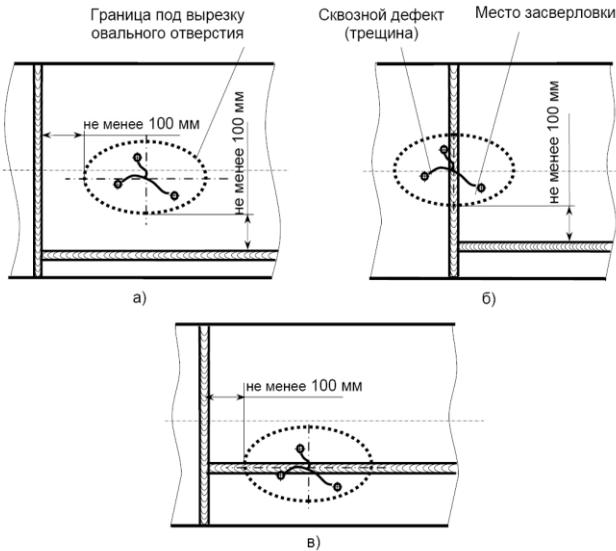


Рис. 5.14. Границы размещения овальных отверстий для ремонта дефектных участков вваркой заплата или приваркой патрубка: а – дефектный участок со сквозным дефектом (трещиной) на основном металле трубы; б - дефектный участок со сквозным дефектом (трещиной) на кольцевом сварном шве; в – дефектный участок со сквозным дефектом (трещиной) на продольном сварном шве

При пересечении овального отверстия с продольным или кольцевым сварным швом усиление облицовочного шва должно быть снято на расстояние не менее 40 мм механическим способом с плавным переходом к шву. При наличии на ремонтируемом участке подварочного шва на подкладном кольце удаляют его часть, как показано на рис.5.15. Это обеспечивает плотное прилегание подкладного кольца к внутренней поверхности трубы.

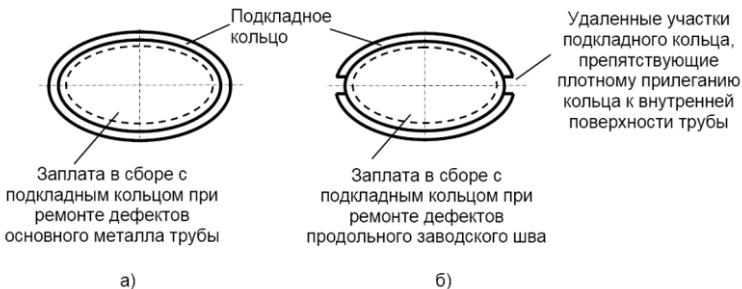


Рис.5.15. Сборка заплата с подкладным кольцом в овальном отверстии при ремонте дефектов основного металла и сварных швов



При наличии гнездообразных трещи, технологических отверстий, несанкционированных врезок, коррозионных повреждений, вмятин и др. дефектов ремонт целесообразно выполнить путём установки ложных патрубков. Суть метода состоит в том, что при удалении поврежденной поверхности в конструкции вырезают цилиндрическое отверстие, которое закрывают патрубком с заглушкой. Приварка патрубка, заглушающего отверстие, по сравнению с заплатой, сопровождается более льготным напряжённым состоянием в районе шва, поскольку стыковое соединение заменяется соединением с угловым швом.

Для приварки патрубка рекомендуется вырезать круглое отверстие. Кроме того, установка патрубка в качестве ремонтной конструкции не всегда требует выполнения отверстия. Ложный штуцер должен компенсировать недостающую прочность, вызванную отверстием, которое появилось при удалении повреждённого металла.

Конструкция ложного штуцера показана на рис.5.16. Она, в основном, состоит из патрубка и днища. Патрубок должен иметь подготовленные под сварку торцы в соответствии с требованиями, показанными на рис.5.16.

Торец, свариваемый с поверхностью ремонтируемой конструкции, должен быть обработан по специальному шаблону и иметь кромки с углом скоса $\alpha_0 = 50 \pm 5^\circ$ в точке по образующей цилиндра, притупление от 1,5 до 2,0 мм. Угол скоса кромок α_{90} в точке вдоль образующей может составлять от 20° до 50° в зависимости от сочетания диаметров ремонтируемой конструкции и ложного патрубка. Чем больше диаметр ремонтируемой конструкции и меньше диаметр привариваемого патрубка, тем значение угла α_{90} ближе к 50° . В промежуточных точках торца патрубка значение угла скоса кромок должно плавно изменяться от α_0 до α_{90} .

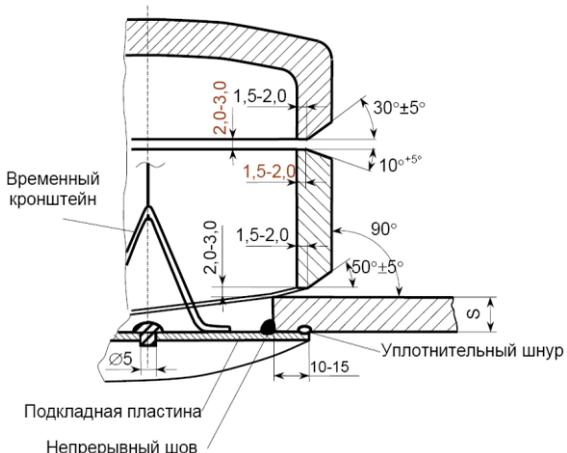


Рис. 5.16. Параметры подготовки кромок патрубка и дна под сварку

Торец патрубка, свариваемый с дном (заглушкой), должен иметь скос кромки с углом $10 \pm 5^\circ$, притуплением от 1,5 до 2,0 мм. Допускается выполнять разделку кромки патрубка углом скоса $30 \pm 5^\circ$. Разделка кромки дна должна иметь скос с углом $30 \pm 5^\circ$.

Внутренний диаметр патрубка должен быть не менее чем на 20-25 мм больше максимального размера вырезанного отверстия для того, чтобы при выполнении внутреннего шва (подварочного валика), соединяющего патрубок с трубой, не происходило оплавления кромки отверстия, которое может вызвать повышение местных напряжений.

Эллиптическое дно должно иметь следующие размеры:

- полная высота не менее 0,4 наружного диаметра патрубка;
- высота цилиндрической части равна 0,1 диаметра патрубка;
- радиус сферической части не менее диаметра патрубка;
- радиус перехода сферической части к цилиндрической не более диаметра патрубка;
- толщина стенки дна равна толщине стенки патрубка.

Монтаж патрубка часто производится без использования подкладной пластины, а иногда с применением подкладной пластины овальной формы. В этом случае подкладная пластина предварительно устанавливается в отверстие с применением специальной струбицы и временного кронштейна. Подкладная пластина должна перекрывать размеры отверстия на ширину 10-15 мм от кромки. Поверх-

ность подкладной пластины в местах сварки с кромками отверстия должна быть зачищена до металлического блеска.

Для исключения выхода продукта из-под пластины в процессе монтажа и сварки патрубка рекомендуется по контуру подкладной пластины прикреплять уплотнительный асбестовый шнур, пропитанный силикатным клеем. До установки патрубка подкладная пластина сваривается с кромками отверстия по периметру обратноступенчатым способом узким швом.

При сборке патрубка необходимо следить за его перпендикулярностью к поверхности ремонтируемого участка и за равномерностью зазора, который должен быть в пределах 2,0-3,0 мм. Прихватки, соединяющие кромки патрубка с поверхностью ремонтируемого объекта, должны располагаться равномерно по периметру отверстия. Количество прихваток должно быть не менее трёх, длина прихваток 30 - 50 мм. Выполнение прихваток в местах пересечения швов, расположенных на ремонтируемой конструкции с патрубком, не допускается.

Последовательность приварки патрубка приведена на рис.5.17, а. Вначале электродами диаметром 3,0 мм выполняется корневой шов 1. Абразивным инструментом зачищается корень шва. После этого внутри патрубка заваривается подварочный шов катетом равным 6,0-8,0 мм. Затем с наружной стороны патрубка электродами диаметром 4 мм заваривают остальные швы, прикрепляющие патрубок к изделию. Количество заполняющих швов зависит от толщины патрубка.

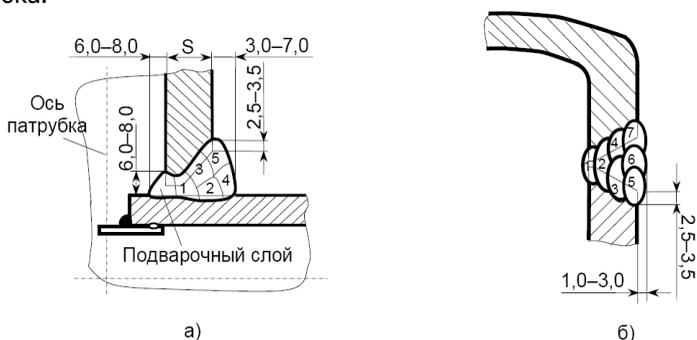


Рис.5.17. Последовательность сварки ложного штуцера: а – сварка патрубка с ремонтируемым изделием; б – сварка патрубка с дном; S – толщина патрубка

Последовательность сварки патрубка с дном и требуемая геометрия сварного шва приведены на рис.5.17, б. На патрубок ус-



танавливают и прихватывают эллиптическое днище. Заваривают корневой шов электродами 3 мм, заполняющие швы выполняют электродами диаметром 4 мм. После выполнения каждого слоя шва проводится обязательная зачистка его от шлака и брызг.

5.5. Технология ремонта повреждённых штуцерных соединений

Штуцеры (патрубки) сосудов, работающих под давлением, подлежат замене при следующих дефектах:

- а) трещины всех видов и направлений;
- б) коррозионные повреждения;
- в) расслоение металла.

Поврежденный штуцер удаляют, вырезая его из стенки корпуса сосуда (обычно с помощью ацетиленокислородной резки), отверстие обрабатывают механическим путем для получения требуемой разделки кромок, устанавливают и приваривают новый штуцер.

Разделку кромок необходимо выполнять так, чтобы в неблагоприятном для сварки положении объем наплавляемого металла свести к минимуму. Например, при вертикальном расположении оси штуцера разделку кромок рекомендуется выполнять несимметричную двухстороннюю, чтобы большую часть металла можно было выполнять в нижнем положении. При горизонтальной оси штуцера разделка кромок должна быть симметричной. Для уменьшения объема наплавляемого металла рекомендуется отдавать предпочтение двухсторонней разделке.

В зависимости от характера повреждения, места его расположения, толщины стенки сосуда и материала (рис.5.18), технологии ремонта имеют некоторое различие.

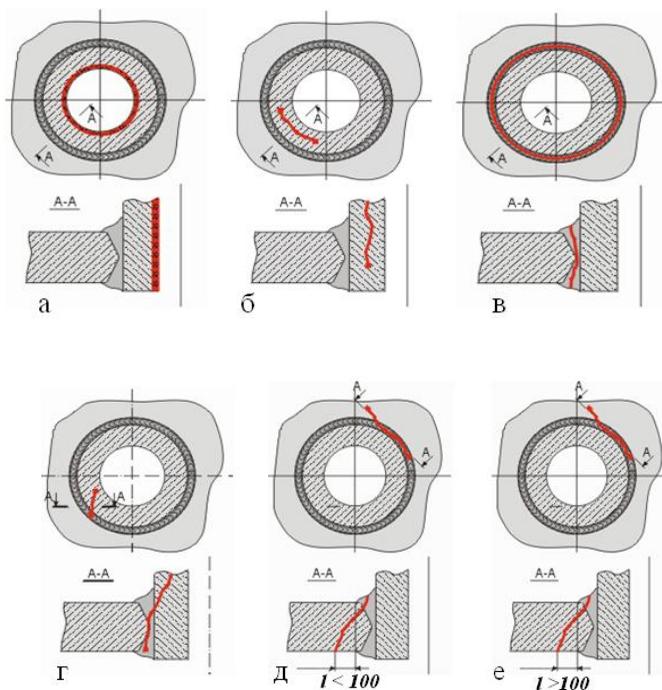


Рис.5.18. Виды повреждения штуцеров

Если трещина или другое повреждение не выходит за пределы внешнего контура шва (рис.5.18, а-г), то штуцер вырезают по шву и на его место устанавливают новый.

Новый штуцер должен изготавливаться в условиях ремонтного цеха с соблюдением требований стандартов и нормативно-технической документации на изготовление штуцера. Если после вырезки дефектного штуцера отверстие в корпусе получилось овальной формы или большего диаметра, чем требуется, то допускается производить местную наплавку кромки отверстия и/или наплавку на наружную поверхность штуцера. Толщина наплавленного слоя, как на корпусе, так и на штуцере, после наплавки не должна быть более 10 мм, а после механической обработки – не более 8 мм.

В тех случаях, когда трещина выходит на стенку сосуда, но не более чем на 100 мм (рис.5.18, д), штуцер вырезают по окружности вместе с трещиной по телу стенки сосуда и на его место устанавливают новый большего размера по диаметру.



Машины и автоматизация сварочного производства

Если трещина выходит на стенку сосуда больше чем на 100 мм (рис.5.18, е), то штуцер вырезают по контуру шва. Трещину, вышедшую в основной металл за пределы шва, подготавливают к ремонту (насверливают конец трещины, выполняют разделу и зачистку кромок) и заваривают. После этого производят подготовку кромок отверстия, устанавливают новый штуцер и производят сварку кругового шва.

При толщинах корпуса более 30 мм после заварки выборки для снятия напряжений рекомендуется проведение термообработки.

Перед тем как приступить к ремонту с установкой штуцера большего размера, необходимо произвести расчёт и спроектировать новый штуцер, а также согласовать изменение конструкции с проектной организацией. При этом необходимо учитывать, что увеличение диаметра штуцера может ослабить сечение стенки сосуда и потребуются установка укрепляющего воротника. Кроме того, при проектировании нового штуцера необходимо сохранить размеры фланцевой части штуцера для соединения его с арматурой или технологическим трубопроводом.

В процессе замены штуцера необходимо сохранить положение оси штуцера, которое было до ремонта, в противном случае сборка фланца с арматурой будет затруднена.

В зависимости от толщины стенки, материала корпуса и штуцера определяется необходимость предварительного и сопутствующего подогрева и необходимость последующей термической обработки. Термическую обработку проводят в соответствии с режимами, указанными в паспорте на изготовление сосуда.

При отсутствии в паспорте указаний по режиму термической обработки для конструкций из малоуглеродистых и низколегированных сталей рекомендуется назначать следующий режим:

- температура нагрева – 620-650°C;
- время выдержки – 2 ч;
- скорость нагрева – не более 100-120°C/ч;
- скорость охлаждения до 300°C – 100-200°C/ч, ниже 300°C – под слоем изоляции без контроля скорости охлаждения.

Время выдержки отремонтированных сварных соединений после сварки до термообработки не ограничено, но в этот период не допускаются статические и ударные нагрузки на сварные соединения.



5.6. Пример технологии ремонта сосуда с заменой штуцера

В качестве примера рассмотрим наиболее сложный случай (см. рис.5.18, е). При диагностике корпуса сосуда давления в патрубке обнаружена трещина, которая пересекла сварной шов и вышла в основной металл корпуса. Размер трещины на корпусе сосуда превышал 100 мм.

При таком повреждении технология ремонта должна включать удаление патрубка вырезкой его по внешнему контуру сварного шва, ремонт стенки корпуса путем выборки металла поврежденного участка корпуса с последующей заваркой и установка нового патрубка.

Линию предполагаемой вырезки дефектного патрубка размечают кернением с шагом 15-20 мм в соответствии с ремонтным чертежом на вварку нового патрубка, обеспечивая соосность вырезаемого отверстия с проектной осью дефектного патрубка. При разметке следует учесть припуск на ширину реза.

Для начала процесса резки необходимо просверлить сквозное отверстие диаметром 8-10 мм. Чтобы предотвратить развитие трещин, газовую резку необходимо производить с предварительным подогревом стенки до температуры 150-200°C.

Отклонение линии реза от разметки не должно превышать 2 мм. При вырезке отверстия металл шва должен быть удален полностью, включая зону термического влияния.

Разделку кромок отверстия в корпус допускается производить газовой резкой с последующей обработкой поверхности реза абразивным инструментом. Чистота обработки поверхности должна быть не ниже $Rz\ 40$ мкм.

Для подтверждения полноты удаления дефектов подготовленные под ремонтную сварку кромки проверяют с помощью визуального и измерительного контроля и цветной дефектоскопии.

Перед проведением контроля поверхность кромок, а также прилегающая к ним зона, должны быть очищены и обезжирены. После окончания операции контроля остатки пенетранта и других химикатов, использованных для цветной дефектоскопии, необходимо удалить.



Машины и автоматизация сварочного производства

После удаления поврежденного патрубка производят подготовку стенки корпуса к ремонту.

Перед началом ремонта необходимо установить границы трещины на поверхности корпуса и на расстоянии 5 мм от её устья (концов) высверлить отверстие диаметром 8-10 мм на глубину ее залегания плюс 1-3 мм. Затем послойно удаляют металл, поврежденный трещиной, на глубину, превышающую глубину трещины на 2-3 мм. При этом производится послойный контроль полноты удаления визуальным способом с использованием лупы 4-кратного увеличения через каждые 4-5 мм по глубине выборки.

Пораженный дефектами металл удаляют механическим способом (шлифовальными кругами, торцевыми фрезами и т.п.) для получения выборки заданного профиля по аналогии с рис.3.6. Выборка должна иметь плавные очертания без резких переходов и заусенцев. Допускается доводку профиля выборки производить абразивным инструментом или фрезами. Поверхность выборки необходимо зачистить и обезжирить. Чистота поверхности не ниже $Rz\ 40$.

Допускается применение воздушно-дуговой строжки с последующей зачисткой поверхности выборки механическим способом на глубину не менее 1 мм, считая от наибольшей впадины реза. Удаление дефектов в корпусах кислородной резкой или воздушно-дуговой строжкой допускается при местном подогреве до температуры 150-200°C при температуре окружающего воздуха не ниже -20°C. При температуре окружающего воздуха ниже -20°C кислородная резка и воздушно-дуговая строжка запрещаются.

Для подтверждения полноты удаления дефектов, подготовленные под ремонтную сварку выборки подвергаются визуальному контролю и цветной дефектоскопии, а прилегающая к ним зона основного металла на ширину, равную толщине основного металла, но не менее 50 мм, подвергается контролю ультразвуковой дефектоскопии с целью выявления расслоения металла стенки корпуса.

Контроль формы и размеров выборки, расположенной в основном металле, осуществляется визуальным и измерительным контролем с применением шаблонов для поперечного и продольного сечения.

Результаты контроля подготовки дефектного места под сварку должны быть оформлены актами.

Сварку начинают с заварки выборки на стенке корпуса сосуда. Перед сваркой необходимо зачистить и обезжирить подготовленные



кромки выборки и прилегающие к ним поверхности на ширину не менее 20 мм по обе стороны выборки и произвести подогрев зоны сварки до температуры 150-250°C. Процесс начинают на выводной планке толщиной 6 мм, шириной 50 мм и длиной 60 мм. Материал планки сталь Ст.3 или Ст.20. Выводную планку подогнать по месту выборки.

После заполнения выборки наплавленным металлом выводную планку удаляют газовой резкой, зачищают механическим способом выпуклость шва и прилегающую зону на ширину не менее 20 мм с обеспечением плавного перехода от шва к основному металлу при обязательном удалении подрезов, наплывов, несплавлений кромки. Чистота поверхности – Rz 40 мкм.

После завершения ремонта стенки корпуса производят подготовку отверстия для установки нового патрубка и сварку его с корпусом.

В процессе производства ремонтной сварки должен осуществляться следующий контроль:

- контроль качества основного металла и сварочных материалов по сертификатам. В случае возникновения сомнения в качестве основного металла или сварочных материалов производится дополнительный контроль основного металла согласно РТМ 26-362-80 и сварочных материалов согласно РД 26-17-049-85;
- проверка квалификации сварщиков;
- контроль технологических режимов и последовательности выполнения сварки и термообработки;
- контроль качества ремонтных сварных соединений производится визуальным и измерительным методом, применяется ультразвуковой, радиографический контроль, цветная дефектоскопия, контроль твердости металла различных зон сварного соединения.

6. РЕМОНТ ДЕФЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕМОНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

6.1 Общие принципы установки ремонтных конструкций

Наиболее частым повреждением магистральных трубопроводов в период эксплуатации является коррозия наружной поверхности труб. Возможность появления и развития коррозионных процессов, как правило, обусловлена нарушением электрохимической защиты трубопровода и отслоением защитной изоляции от стенки трубы. На рис.6.1 показаны примеры отслоения защитного покрытия и коррозионного поражения стенки трубы.



Рис.6.1. Примеры коррозии стенки трубопроводов

В результате коррозии толщина стенки трубы уменьшается. Под действием давления внутри трубы стенка выпучивается, что мо-



жет привести к разрушению трубопровода со всеми вытекающими последствиями.

В период эксплуатации коррозионные повреждения выявляют путем внутритрубной диагностики. Участок трубопровода вскрывают, удаляют изоляцию и на основании анализа поврежденности принимают решение о технологии ремонта. Радикальным способом ремонта является удаление поврежденной трубы и замена ее новой. Но такой способ является чрезмерно дорогим и требует остановки работы магистрального трубопровода и освобождения трубы от транспортируемого продукта.

Ремонт без остановки перекачки продукта позволяет значительно сократить затраты, включающие стоимость самого ремонта и потери, связанные с остановкой подачи продукта потребителю.

При остановке перекачки газа во время выполнения ремонтных работ убытки возрастают за счет стоимости продукта, сброшенного в атмосферу. При сбросе в атмосферу газа из газопровода диаметром 1420 мм, протяженностью в 20 км, с рабочим давлением 50 бар, ущерб от потери продукта составит около 350 000 Евро. Кроме того, необходимо принимать во внимание штрафы за загрязнение окружающей среды. Стоимость штрафов за экологию постоянно растет, особенно, в России.

Альтернативным методом продления срока действия магистрального трубопровода является ремонт с применением ремонтных конструкций, заключающийся в том, что поврежденный участок трубы укрепляют путем установки муфты, воспринимающей часть нагрузки от давления продукта на стенку трубы. Муфта охватывает трубу по периметру и вызывает значительно меньшую концентрацию напряжения по сравнению с установкой заплат всех видов и накладных элементов.

При использовании муфт ремонт действующих магистральных и технологических газонефтепроводов может проводиться без остановки перекачки нефти.

На практике используют различные виды ремонтных конструкций: сварные и без применения сварки. Муфты, устанавливаемые без сварки, представляют собой достаточно сложную конструкцию, состоящую из отдельных стальных, механически обработанных элементов, и системы уплотнительных колец (рис.6.2). Они обжимают трубу и скрепляются между собой болтами.



Рис.6.2. Муфта для ремонта трубопроводов без применения сварки

Наибольшие трудности вызывает решение задачи герметизации полости между внутренней поверхностью муфты и трубой. В некоторых случаях в эту полость закачивают полимеризующийся материал (например, эпоксидные смолы).

Вследствие высокой стоимости таких ремонтных конструкций их применяют в тех случаях, когда осуществление сварочных работ связано с определенными трудностями, например, при ремонте подводных трубопроводов на большой глубине.

Для ремонта наземных и подземных магистральных трубопроводов применяют сварные муфты. Конструкция таких муфт зависит от размеров поврежденных участков и конструктивных особенностей трубопровода на этих участках.

На рис.6.3 представлена схема ремонта поврежденного участка трубопровода с применением муфт. Муфта, состоящая из двух полуцилиндров (рис.6.3, г), устанавливается на трубу так, чтобы полностью закрыть поврежденный участок (рис.6.3, а). Полуцилиндры соединяются между собой продольными швами (рис.6.3, в, г).

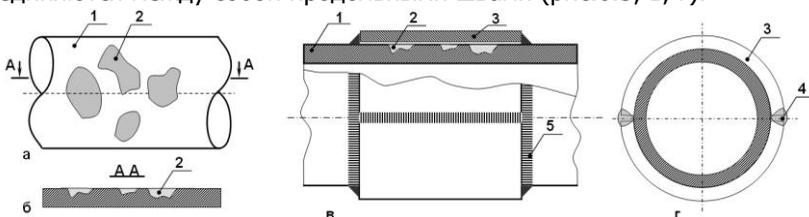


Рис.6.3. Ремонт поврежденного участка трубопровода с применением муфт: 1 – труба; 2 – коррозионные повреждения; 3 – полуцилиндры муфты; 4 – сварные швы, соединяющие полуцилиндры между собой; 5 – швы, присоединяющие торцы муфты к трубе

Длина муфт выбирается в зависимости от длины ремонтируемого участка с дефектами (поз.2, рис.6.3, а, б). Муфта 3 должна перекрывать место дефекта не менее чем на 100 мм от края дефекта в

каждую сторону. Продольный шов муфты 4 должен находиться на расстоянии не менее 100 мм от продольного шва трубы. Кольцевой шов приварки муфты к трубе должен отстоять от кольцевого стыка трубопровода на расстояние более 100 мм. Заводской продольный шов трубы не должен мешать установке муфты. Поэтому его необходимо обработать так, чтобы усиление шва составляло 0,5-1,0 мм.

Для того чтобы исключить влияние термического цикла сварки на металл стенки трубы, соединения полуцилиндров выполняют на остающейся подкладке (рис.6 4).

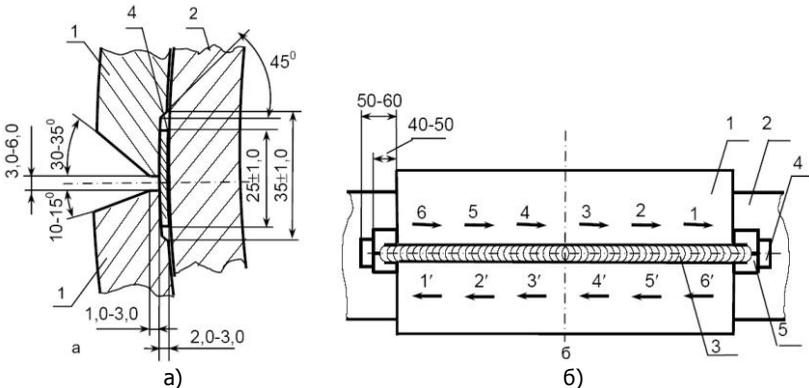


Рис.6.4. Рекомендации по выполнению шва, соединяющего полуцилиндры муфты: 1 – полуцилиндр; 2 – труба; 3 – шов; 4 – остающаяся подкладка; 5 – технологические планки

Разделку кромок продольного шва 3 рекомендуется заполнять многослойными швами обратноступенчатым способом, причем четные проходы сваривают в одном направлении, нечетные – в противоположном.

С целью исключения дефектов начала и конца сварки (стартовые поры, наплывы) на торцах полумуфт и полуколец при сварке продольных стыковых сварных соединений, начало и окончание сварки каждого слоя рекомендуется выполнять на временных выводных технологических планках 5 длиной от 40 до 50 мм, сваренных между собой с углом скоса кромок собранного продольного стыкового соединения и прихваченных сваркой к подкладной пластине. После окончания сварки технологические планки и концы подкладных пластин удаляются механическим способом.

Если по условиям ремонта герметичность пространства между муфтой и трубой не требуется (негерметичные муфты), то торцы муфты не приваривают к трубе (шов 5, рис.6.3, в). В этом случае основное назначение муфты – увеличить сечение стенки, воспринимающей нагрузку от давления, поэтому при монтаже необходимо

обеспечить плотное прилегание муфты и стенки трубы. Негерметичные муфты применяют для ремонта участков трубопроводов с поверхностными несквозными дефектами труб и дефектами геометрии поверхности (вмятины) труб при отсутствии элементов, препятствующих равномерному прилеганию муфты к ремонтируемому трубопроводу.

Монтаж муфт выполняют с натягом. Сборка полумуфт и их фиксирование на ремонтном участке должны производиться с применением съемных приспособлений для обеспечения обжатия муфты на трубопроводе и необходимых зазоров (0-4 мм) между трубой и муфтой.

В качестве сборочных приспособлений рекомендуется применять наружные звенные центраторы, преимущественно с гидравлическим приводом (рис.6.5). Количество сборочных приспособлений определяется длиной муфты или ее элементами. При установке муфты на ремонтный участок трубопровода запрещается наносить удары кувалдой или другими предметами с целью получения необходимого обжатия.

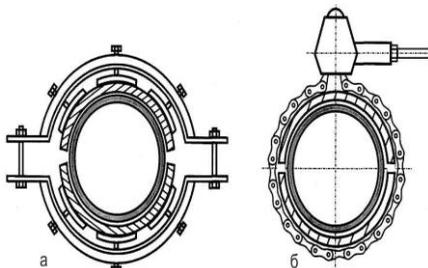


Рис.6.5. Приспособления для сборки полуцилиндров муфты:
а – с винтовыми прижимами; б – цепной с гидравлическим прижимом

Приспособления для сборки муфт могут быть сняты после сварки не менее 60% длины корневого слоя шва, соединяющего полуцилиндры между собой.

Ремонт вмятин в сочетании с другими видами дефектов, отнесённых по степени дефектности к значительным и критическим, должен проводиться только герметичными сварными муфтами.

Герметичные усиливающие муфты при монтаже на трубопроводе привариваются к стенке ремонтируемого трубопровода кольцевыми угловыми швами (шов 5, рис.6.3, в).

Присутствие таких швов на трубопроводе создает значительную концентрацию напряжений на границе шва, что в случае действия вибрации или других переменных нагрузок может вызывать появление усталостных разрушений трубопровода. Пример такого разрушения приведен на рис.6.6.

В связи с этим конструктивному оформлению сварного соединения герметичных муфт необходимо уделять особое внимание.

Основная причина высокой концентрации напряжений состоит в том, что муфта увеличивает жесткость трубы на изгиб, а шов располагается именно в районе резкого изменения жесткости.

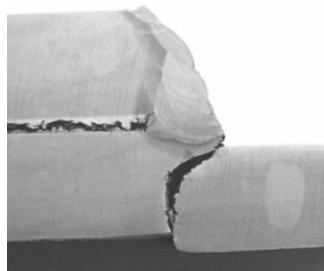


Рис.6.6. Разрушение трубопровода, инициированное неблагоприятным очертанием углового шва в районе присоединения муфты

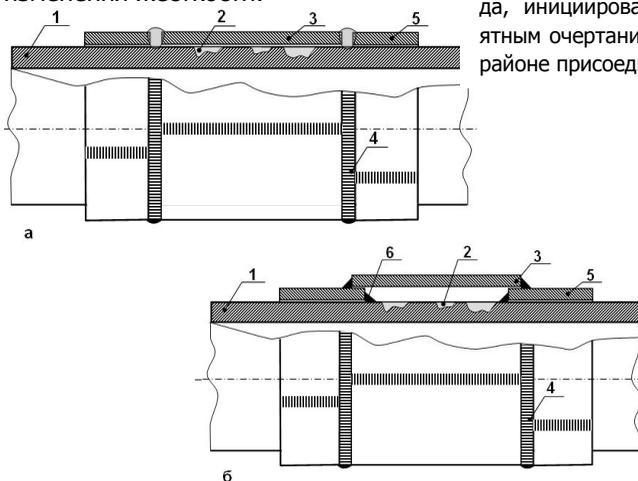


Рис.6.7. Конструкции герметичных муфт, рекомендуемые нормативными документами АК «Транснефть» (а) и ОАО «Газпром» (б)

На рис.6.7 показаны два варианта уменьшения концентрации напряжений в районе кольцевого шва при изгибе трубы. В обеих конструкциях места резкого изменения жесткости трубопровода и места расположения кольцевого шва смещены друг относительно друга. Поэтому на трубе, помимо муфты 3, установлены два технологических кольца 5 с каждой стороны муфты, предназначенные для того, чтобы переместить зону резкого изменения жесткости трубы на некоторое расстояние от кольцевого шва 4.

В конструкции, рекомендуемой документами ОАО «Газпром» (рис.6.7, б), муфту приваривают к кольцу внахлестку угловым швом. При этом сварной шов находится на большом расстоянии от внешне-



го края кольца и, следовательно, изменение жесткости трубы в месте изменения сечения не оказывает влияние на концентрацию напряжений в районе углового шва.

Шов 6, присоединяющий кольцо к трубе и обеспечивающий герметичность полости, выполнен с внутренней стороны кольца на достаточном расстоянии от места изменения изгибной жесткости трубы (внешнего края кольца).

Для уменьшения концентрации напряжения угловые швы должны быть выполнены с большим катетом шва, примыкающего к трубе (рис.6.8).

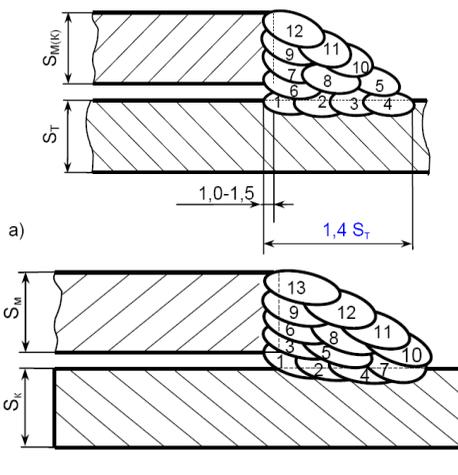


Рис.6.8. Форма сечения углового шва и последовательность его выполнения: а – шов, присоединяющий кольцо $S_{M(K)}$ к стенке трубопровода S_T ; б – шов, присоединяющий муфту S_M к кольцу S_K

В конструкции, изображенной на рис.6.7, а (нормативные документы АК «Транснефть»), благодаря наличию колец, шов 4, присоединяющий муфту к трубе, вынесен из зоны изменения жесткости трубы на расстояние, равное ширине кольца. Кроме того, благодаря специальной технологии и последовательности выполнения отдельных валиков, этот шов из углового превращен в стыковой с проплавлением стенки трубы.

Последовательность выполнения сварки кольцевого шва (поз. 4, рис.6.7, а) показана на рис.6.9.

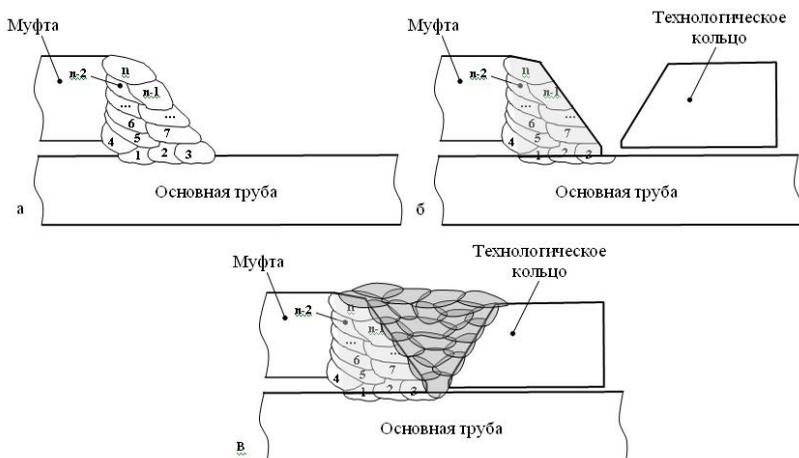


Рис.6.9. Последовательность соединения муфты и технологического кольца с ремонтируемой трубой

Муфту присоединяют к ремонтируемой трубе угловым швом, который выполняют за несколько проходов. Последовательность выполнения отдельных швов показана на рис.6.9, а цифрами. Ремонт производят без остановки процесса транспортировки продукта, поэтому рекомендуется швы, наплавляемые на поверхность трубы 1, 2, 3, выполнять ниточными валиками (без поперечных колебаний), чтобы уменьшить глубину проплавления. При использовании ручной дуговой сварки швы выполняют снизу вверх обратноступенчатым способом.

После выполнения углового шва его поверхность обрабатывают абразивным инструментом, чтобы в последующем при установке технологического кольца образовалась V-образная разделка кромок (рис.6.9, б).

На завершающем этапе технологическое кольцо приваривают одновременно к трубе и к муфте (рис.6.9, в). Такая технология превращает угловой шов, соединяющий муфту и трубу (см. рис.6.9, а), в стыковой шов (см. рис.6.9, в), в результате чего значительно уменьшается концентрация напряжений в районе шва.

В местах приварки муфты и ее элементов к трубопроводу должен быть проведен ультразвуковой контроль с целью подтверждения отсутствия расслоения металла в стенке трубы в зоне шириной 50 мм в обе стороны от места предполагаемого расположения кольцевого



шва. При наличии дефектов в стенке трубы приварка муфты в данном месте не допускается и необходимо увеличить длину муфты.

6.2. Конструкция муфт, рекомендованная нормативными документами для ремонта нефтепроводов [24]

Методы ремонта нефтепроводов подразделяются на методы постоянного ремонта и методы временного ремонта.

К методам постоянного ремонта относятся методы, восстанавливающие несущую способность дефектного участка нефтепровода до уровня бездефектного участка на все время его дальнейшей эксплуатации.

К муфтам, применяемым для постоянного ремонта, относятся композитная муфта, обжимная приварная муфта, галтельная муфта, удлиненная галтельная муфта для ремонта гофр, патрубков с эллиптическим днищем.

Муфты должны быть изготовлены в заводских условиях в соответствии с утвержденными техническими условиями, конструкторской документацией, технологической картой, должны иметь маркировку, паспорт и сертификаты на применяемые материалы.

Применение муфт и других ремонтных конструкций, изготовленных в полевых условиях (в трассовых условиях), запрещается.

Ремонт действующих магистральных и технологических нефтепроводов может проводиться без остановки перекачки продукта при условии обеспечения безопасности производства работ. Как правило, при установке муфт давление в нефтепроводе должно быть не более 2,5 МПа.

Муфты изготавливают из листового материала или из новых (не бывших в эксплуатации) прямошовных или бесшовных труб, предназначенных для сооружения магистральных нефтепроводов. Для изготовления муфт применяются низколегированные стали марок 09Г2С, 10ХСНД, 13Г1С-У, 17Г1С-У или аналогичные им. Толщина стенки муфты и ее элементов при одинаковой прочности металла трубы и муфты должна быть не меньше толщины стенки ремонтируемой трубы. При меньшей нормативной прочности металла муфты номинальная толщина ее стенки должна быть увеличена в соответствии с расчетом. При этом толщина стенки муфты не должна превышать толщину стенки трубы более чем на 20%. Все элементы муфты должны быть одинаковой толщины.



Машины и автоматизация сварочного производства

При изготовлении муфт и их элементов должен быть проведен ультразвуковой контроль поверхности на отсутствие расслоений на расстоянии не менее 30 мм от кромок, подлежащих сварке.

На право изготовления муфт предприятию необходимо получить разрешение Ростехнадзора. На каждую изготовленную муфту должен быть оформлен технический паспорт.

Требуемую конструкцию ремонтных муфт выбирают в зависимости от вида дефектов и их размеров в соответствии с рекомендациями табл.6.1.

Таблица 6.1

Рекомендации по выбору ремонтных конструкций

Тип дефекта и его расположение	Дефект и его расположение	Ремонтная конструкция
1	2	3
Потери металла, риски, царапины, задиры на внешней поверхности трубы	ДПР* глубиной до $0,9 \cdot t$ при L до $\sqrt{D_H \cdot t}$	П1
	ДПР глубиной до $0,7 \cdot t$ при любой длине	П1
	ДПР глубиной до $0,7 \cdot t$ при L до D_H	П2
	ДПР в околошовной зоне кольцевого шва глубиной до $0,7 \cdot t$	П3, П4, П5
Потери металла и риски на внутренней поверхности трубы	ДПР глубиной до $0,5 \cdot t$	П1
	ДПР глубиной до $0,5 \cdot t$ при L вдоль оси трубы до D_H	П2
	ДПР в околошовной зоне кольцевого шва глубиной до $0,5 \cdot t$	П3, П4, П5
Трещины по телу трубы	ДПР глубиной до $0,7 \cdot t$ при L до 0,6 длины кольцевого шва	П1, П2
	ДПР глубиной до $0,7 \cdot t$ при L по оси трубы до $0,5 D_H$	П1, П2
	ДПР глубиной до $0,3 \cdot t$ при любой длине	П1
	ДПР глубиной до $0,3 \cdot t$ при L по оси трубы до $0,5 D_H$	П2
Трещины в продольном шве	ДПР глубиной до $0,7 \cdot t$ при L вдоль оси трубы до $0,5 D_H$	П1
	ДПР глубиной до $0,3 \cdot t$ при любой длине	П1
Трещины в поперечном шве	ДПР глубиной до $0,9 \cdot t$ при L до $0,6 D_H$ поперечного шва	П1
	ДПР глубиной до $0,7 \cdot t$ при L по окружности трубы до $0,5 D_H$	П3, П4, П5
Расслоения с выходом на поверхность	ДПР глубиной до $0,7 \cdot t$	П1
	ДПР глубиной до $0,7 \cdot t$ при L вдоль оси трубы до D_H	П2
Гофры без других дефектов и при-	ДПР глубиной до H_d (рис.6.7, а)	П1
	ДПР высотой до 6% номинального диаметра трубы	П6

мыкания к швам		
Вмятины, примыкающие или расположенные на шве	ДПР глубиной до H_d (рис.6.7, а)	П1
	ДПР в околошовной зоне поперечного сварного шва	П4, П5, П6
Гофры, примыкающие или расположенные на шве	ДПР глубиной до H_d (рис.6.7, а)	П1
	ДПР высотой до 6% номинального диаметра трубы	П2, П4
Примечание: *ДПР – дефекты, подлежащие ремонту; t – толщина стенки трубы; L – длина дефекта; D_n – номинальный наружный диаметр трубы; H_d – допустимая глубина вмятин или сумма выступа и глубины гофра		

Муфта П1 – муфта, изготавливаемая по композитно-муфтовой технологии (КМТ). Муфта предназначена для ремонта дефектов геометрии трубы, дефектов стенки трубы и дефектов сварных швов. Композитно-муфтовая ремонтная конструкция состоит из сваренной из двух половин стальной муфты, устанавливаемой на трубе симметрично по отношению к дефекту с кольцевым зазором от 6 до 40 мм. Большой допуск на величину кольцевого зазора позволяет ремонтировать трубопроводы с дефектами геометрии в поперечном сечении и изгибом продольной оси. Концы кольцевого зазора заполняются затвердевающим в течение часа герметиком. Образовавшийся объём между трубой и муфтой заполняется композитным составом, затвердевающим до требуемой прочности в течение 24 часов. Конструкция муфты представлена на рис.6.10.

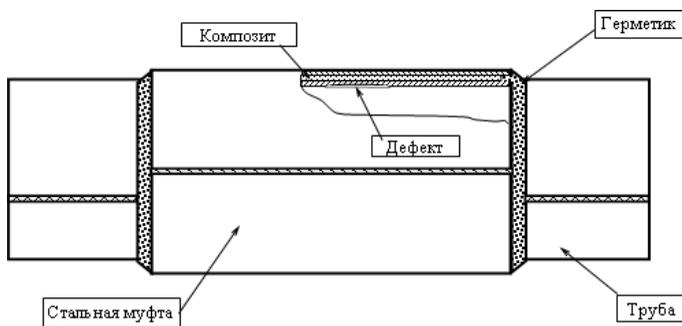


Рис.6.10. Муфта типа П1 композитно-муфтовой технологии (КМТ)

После установки к муфте П1 должна быть приварена шунтирующая перемычка для электрохимической защиты. Подсоединение проводится с помощью термитной сварки.



Машины и автоматизация сварочного производства

Допустимая глубина вмятин и гофров (H_d) при ремонте по композитно-муфтовой технологии (КМТ) представлена в табл.6.2.

Таблица 6.2

Допустимая глубина вмятин и гофров при установке муфты КМТ

$D_{гр}$ мм	325	377	426	530	720	820	1020	1220
H_d мм	33	38	43	53	50	48	45	45

Муфты, используемые для ремонта дефектов трубы, могут быть установлены на прямые трубы, на трубы с радиусом изгиба не менее $1,5 D_{гр}$.

Применяют два типа ремонта муфт:

- муфта со сварным соединением полумуфт;
- муфта с фланцевым соединением полумуфт.

Ремонтная муфта со сварным соединением полумуфт состоит из двух полумуфт, которые соединяются между собой сварными швами на монтаже.

Сварные швы муфты должны пройти визуальный, измерительный контроль и радиографический контроль.

В нижнюю полумуфту ввинчиваются два входных патрубка, по которым подаётся композитный состав.

В верхнюю полумуфту ввинчиваются два выводных патрубка. Кроме того, в верхней полумуфте имеются три ряда контрольных отверстий, предназначенных для выпуска воздуха и контроля уровня композиционного состава при его закачке. После заполнения муфты композиционным составом в контрольные отверстия ввинчиваются болты.

В обеих полумуфтах имеются по четыре резьбовых отверстия, в которые вворачиваются установочные болты, предназначенные для регулирования зазора между муфтой и трубой и выполняющие функцию опор при установке муфты на нефтепровод. Боковые кромки обеих полумуфт имеют разделку под сварку.

Ремонтная муфта с фланцевым соединением, в отличие от муфты со сварными швами, соединяется на трубопроводе с помощью шпилек, стягивающих фланцы. Конструкция арматуры, устанавливаемой на муфту с фланцевым соединением, аналогична арматуре, устанавливаемой на муфту со сварным соединением.

Длина муфты зависит от вида, длины дефекта в осевом направлении и наружного диаметра трубопровода. Муфты выбирают по длине из типового ряда: 1000 мм; 1500 мм; 2000 мм; 2500 мм;



Машины и автоматизация сварочного производства

3000 мм; 3500 мм (ближайший больший размер).

Длина муфты L_M определяется исходя из длины дефекта $L_{деф}$ в осевом направлении и наружного диаметра трубопровода D_H и должна быть:

– не менее $L_{деф} + D_H$ для всех дефектов, кроме дефектов кольцевого сварного шва, дефектов, ориентированных в окружном направлении, продольных трещин и внутренней коррозии (расстояние от края муфты до края дефекта должно быть не менее $0,5D_H$);

– не менее $L_{деф} + 3,3D_H$ для нефтепроводов кольцевого сварного шва, дефектов, ориентированных в окружном направлении, продольных трещин и внутренней коррозии (расстояние от края муфты до края дефекта должно быть не менее $1,65 D_H$).

Если длина требуемой муфты превышает 3500 мм, применяют сварную составную муфту, состоящую из нескольких муфт, соединённых встык друг с другом кольцевым швом. Длина составной муфты не должна превышать 10,5 м. При фланцевой конструкции полумуфт составные муфты не допускаются.

Номинальный внутренний диаметр муфты $D_{ВН}$ определяется в соответствии с табл.6.3.

Таблица 6.3

Номинальный внутренний диаметр муфты КМТ

D_H мм	530	720	820	1020	1220
$D_{ВН}$ мм	560	750	656	1062	1262

Расстояние между отдельными муфтами должно быть не менее 150 мм.

Толщина стенки муфты должна быть равна или больше на 20-30% толщины стенки ремонтируемой трубы, при этом прочностные характеристики металла муфты должны быть не ниже характеристик прочности металла трубы.

Перед установкой ремонтной муфты необходимо тщательно подготовить поверхность трубопровода, освободив её от изоляции покрытия, следов коррозии и др. загрязнений. Длина очищенного участка должна превышать длину устанавливаемой муфты на 300-400 мм (150-200 мм с каждой стороны).

Затем проводится дробеструйная обработка наружной поверхности трубы в зоне ремонта и внутренних поверхностей полумуфт. Дробеструйную обработку полумуфт необходимо проводить на рабо-



чей площадке, принять меры, исключая попадание влаги на обработанные поверхности.

Сборку муфт ведут таким образом, чтобы продольные стыки полумуфт располагались в положении 3 и 9 часов (горизонтально). Прихватку полумуфт выполняют одновременно два сварщика с разных сторон трубы. Прихватки выполняют вдоль шва равномерно, на расстоянии примерно 0,5 м друг от друга, минимальная длина прихватки 50 мм. Вначале делают прихватки у краёв муфты, а затем в её средней части. Аналогичные прихватки выполняются другим сварщиком с противоположной стороны трубы. Минимальное количество прихваток с каждой стороны равно трём. После выполнения прихваток начало и конец необходимо удалить зашлифовкой на величину 15 мм.

К торцам муфты приваривают выводные планки. Сварка корневых швов выполняется одновременно двумя сварщиками с разных сторон трубы. После заполнения корневого шва и его зачистки шлифовальной машинкой производится сварка заполняющих и облицовочных слоёв. По окончании сварки выводные планки срезаются. С помощью регулировочных болтов устанавливается требуемая величина зазора (от 6 до 40 мм) между трубой и муфтой.

Для приготовления композитного состава используют три компонента: смолу (жидкость), отвердитель (жидкость) и наполнитель (порошок), которые перемешиваются до получения однородной массы.

Герметизация торцов муфты (краёв кольцевого зазора) производится с целью создания замкнутого объёма между трубой и муфтой для заполнения его композитным составом.

Герметизация выполняется в два слоя. Первый слой непосредственно заполняет боковой зазор между трубопроводом и муфтой на глубину 20-25 мм. Второй слой образует внешний скос ремонтной конструкции. Скос обеспечивает плавный переход от внешней цилиндрической поверхности муфты к внешней цилиндрической поверхности трубопровода, необходимый для качественного нанесения изоляционного покрытия на ремонтную конструкцию.

Для передачи механических нагрузок с ремонтируемого участка трубопровода на муфту объём между ними заполняется композитным составом.

После заполнения композитным составом кольцевого зазора любые сварочные работы на ремонтной муфте запрещены.

Выдерживают ремонтную конструкцию в течение 24 часов при



температуре от +3 до +25°C. За это время происходит отверждение композитного состава. После этого с помощью шлифовальной машинки срезаются заподлицо входные и выходные патрубки, контрольные и установочные болты. Устраняются все неровности на поверхности муфты и зачищаются сварные швы.

На установленную муфту составляется исполнительная документация и делается запись в журнале сварочных работ.

Муфта П2 – обжимная приварная с технологическими кольцами, устанавливается без зазора между муфтой и трубой. Муфта предназначена для ремонта дефектов стенки трубы и вмятин. Конструкция муфты представлена на рис.6.11.

Муфта состоит из центрального кольца и двух технологических колец. Центральное кольцо состоит из двух полумуфт, а каждое технологическое кольцо – из двух полуколец.

Муфта П3 – галтельная приварная, предназначена для ремонта кольцевых сварных швов (рис.6.12). Состоит из центрального кольца с галтелью. Кольцо состоит из двух полумуфт. Галтель расположена в центральной части каждой полумуфты.

Муфта приваривается к трубе угловыми швами.

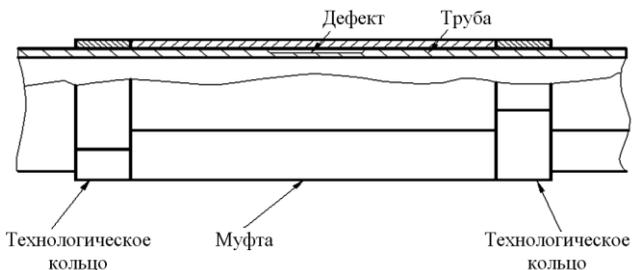


Рис.6.11. Муфта типа П2 обжимная приварная с технологическими кольцами



Рис.6.12. Муфта типа П3 галтельная для ремонта сварных кольцевых швов

Муфта П4 – галтельная с короткой полостью, приварная, предназначена для ремонта кольцевых сварных швов и чопиков с примыканием к поперечному шву. Муфта состоит из центрального



кольца с полостью (длиной 100 мм) и двух технологических колец. Центральное кольцо состоит из двух полумуфт, технологические кольца – из двух полуколец. Конструкция муфты представлена на рис.6.13.

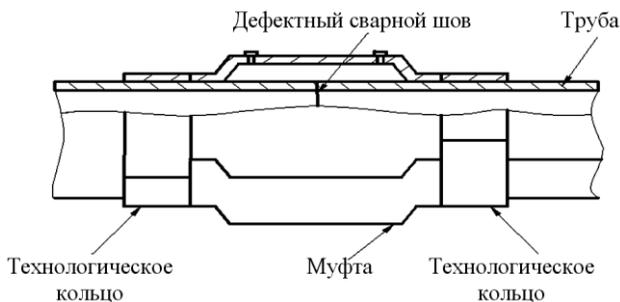


Рис.6.13. Муфта типа П4 галтельная с короткой полостью для ремонта сварных швов и чопиков, с примыканием к поперечному шву и заполнением антикоррозионной жидкостью

На верхней полумуфте имеется два технологических отверстия: одно для заливки антикоррозионной жидкости, другое для контроля уровня заполнения. Муфта после установки и сварки заполняется антикоррозионной жидкостью. После заливки жидкости отверстия закрываются винтовыми пробками и обвариваются.

Муфта П5У – удлиненная сварная галтельная с технологическими кольцами, предназначена для ремонта кольцевых сварных швов и дефектов стенки трубы, примыкающих к поперечному сварному шву и расположенных в зоне шириной до $0,75D_H$ -100 мм в каждую сторону от поперечного сварного шва. Муфта состоит из центрального кольца, двух боковых колец и двух технологических колец. Конструкция муфты представлена на рис.6.14.

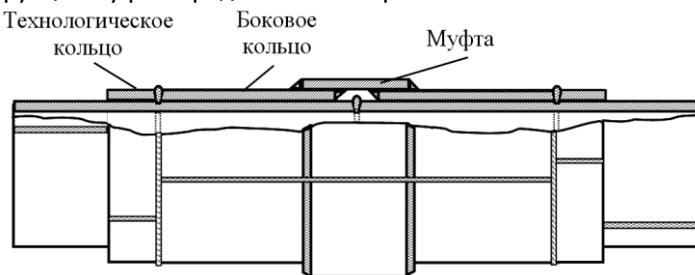


Рис.6.14. Удлиненная сварная галтельная муфта с технологическими кольцами П5У



Муфта П6 – удлиненная галтельная приварная с заполнением антикоррозионной жидкостью, предназначена для ремонта гофров (рис.6.15).

Муфта состоит из центрального кольца с галтелью и двух технологических колец. Центральное кольцо состоит из двух полумуфт, технологические кольца – из двух полуколец.

Конструкции временного ремонта применяются в экстренных случаях на ограниченный период времени эксплуатации. Установка муфт временного ремонта в плановом порядке запрещается.

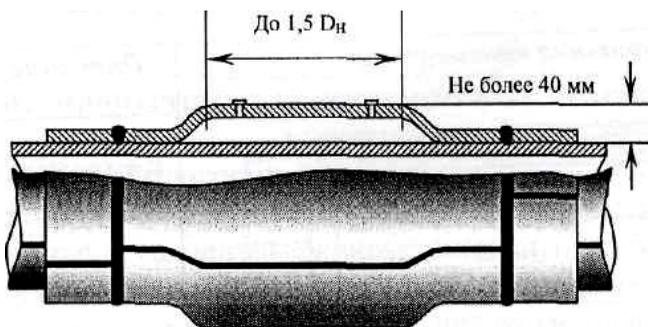


Рис.6.15. Муфта типа П6 удлиненная галтельная приварная с технологическими кольцами, с заполнением антикоррозионной жидкостью для ремонта гофров

К конструкциям для временного ремонта относятся необходимая приварная муфта В1 (рис.6.16) и муфта с коническими переходами В2 (рис.6.17). Их разрешается применять для аварийного ремонта с последующей заменой в течение одного календарного месяца и для ремонта гофр на срок не более одного года с последующей заменой на конструкции постоянного ремонта.

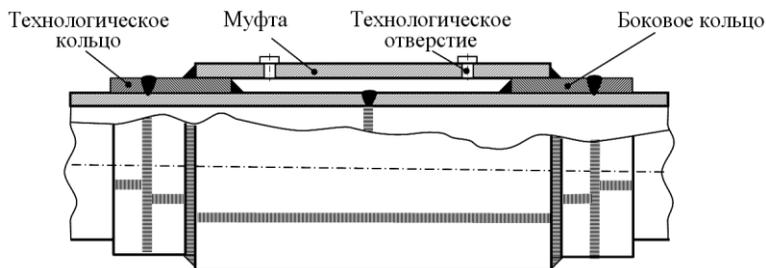




Рис.6.16. Муфта В1 для временного ремонта нефтепроводов

Муфта В1 – приварная необжимная муфта с технологическими кольцами и заполнением антикоррозионной жидкостью. Она состоит из муфты, двух боковых колец и двух технологических колец (см. рис.6.16). На верхней полумуфте имеется два технологических отверстия: одно для заливки антикоррозионной жидкости, другое для контроля уровня заполнения. После установки и сварки муфты на трубопроводе, а также заливки жидкости отверстия завинчиваются винтовыми пробками и обвариваются.

Муфта В2 – приварная муфта с коническими переходами и заполнением антикоррозионной жидкостью. Муфта состоит из центрального кольца, двух конических, двух боковых цилиндрических колец и двух технологических колец. Конструкция муфты представлена на рис.6.17.

Для заливки антикоррозионной жидкости на верхней полумуфте имеется два технологических отверстия. После установки и сварки муфты на трубопроводе, а также заливки жидкости в отверстие устанавливаются винтовые пробки и обвариваются.

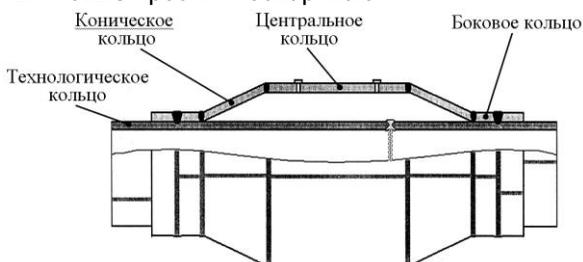


Рис.6.17. Муфта В2 с коническими переходами и заполнением антикоррозионной жидкостью для временной установки

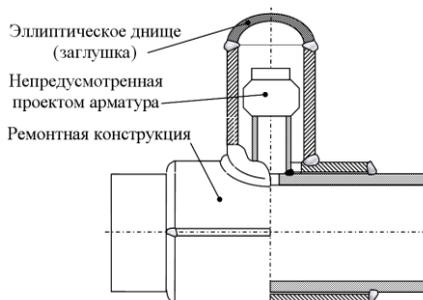


Рис.6.18. Разрезной тройник заводского исполнения с эллиптическим днищем (заглушкой) при устранении несанкционированных врезок П9



Для ремонта патрубков, отверстий и несанкционированных врезок применяются разрезные тройники заводского изготовления **П9**. Разрезные тройники с диаметром патрубка от 325 до 720 мм применяются для ремонта патрубков без остановки перекачки продукта. Конструкция представлена на рис.6.18.

6.3. Рекомендации по установке муфт при ремонте нефтепроводов

Перед установкой ремонтных конструкций необходимо удалить изоляционное покрытие на расстоянии до 200 мм от внешних сварных швов ремонтной конструкции, поверхность трубы трубопровода очистить от грязи, ржавчины и окалины. Для очистки металлической поверхности трубы применяется шлифмашинка с металлической щеткой.

Затем необходимо провести неразрушающий контроль трубы на участке установки ремонтной конструкции.

Непосредственно перед выполнением прихваток и сварки корневого слоя шва продольного стыка необходимо провести подогрев кромок полуцилиндров муфты.

Температура предварительного подогрева продольных швов усиливающей муфты приведена в табл.6.4. Ширина зоны подогрева должна быть не менее 80 мм в каждую сторону от оси шва. Температуру подогрева контролируют на расстоянии 10-15 мм от свариваемых кромок. Межслойная температура должна находиться в пределах от 150 до 250°C. В случае превышения максимального значения межслойной температуры следует дождаться остывания шва до требуемой температуры. Запрещается использовать способы принудительного охлаждения сварного соединения. В случае остывания стыка до температуры ниже допустимой следует выполнять подогрев стыка до температуры 150° С.

Температура предварительного подогрева продольных швов усиливающей муфты, °С Таблица 6.4

Эквивалент углерода основного металла C _с , %	Температура предварительного подогрева при толщине свариваемых элементов					
	св. 5,0 до 12,0 включ.	св. 12,0 до 14,0 включ.	св. 14,0 до 16,0 включ.	св. 16,0 до 18,0 включ.	св. 18,0 до 20,0 включ.	св. 20,0 до 22,0 включ.
до 0,41 включ.			-35 °С	-15 °С	0 °С	
св. 0,41 до 0,46 включ.		-15 °С	+5 °С			
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 20px; vertical-align: middle;"></div> - подогрев до +50 ⁺³⁰ °С при температуре окружающего воздуха ниже +5 °С и/или наличии влаги на концах труб;						



Машины и автоматизация сварочного производства

-35 °С	- подогрев до $+100^{+30}$ °С при температуре окружающего воздуха ниже указанной и до $+50^{+30}$ °С при температуре окружающего воздуха ниже +5 °С и/или наличии влаги на концах труб;
	- подогрев до $+100^{+30}$ °С независимо от температуры окружающего воздуха.
	- подогрев до $+150^{+30}$ °С независимо от температуры окружающего воздуха.

Сборка ремонтных конструкций П2, П3, П4, П5, П6 В1, В2 выполняется в следующей последовательности:

- производится очистка от изоляции участка трубы, перекрывающего по длине границы муфты на 200 мм в каждую сторону;

- проводится дополнительный дефектоскопический контроль (ДДК) дефекта;

- маркером отмечают границы и центр дефекта на трубопроводе, границы муфты симметрично относительно центра дефекта;

- уточняют границы участка удаления изоляции и при необходимости увеличивают зону очистки поверхности трубы;

- проводят визуальный и измерительный контроль (ВИК) участка трубы, выходящего за границы муфты на 100 мм в каждую сторону;

- на теле трубы производят разметку кольцевых угловых швов «муфта – труба»;

- проводят капиллярный контроль и ультразвуковой контроль ремонтируемого участка через каждые 50 мм в обе стороны от линии сварки на расстоянии 50 мм. В случае наличия в контролируемой зоне недопустимых поверхностных или внутренних дефектов (например, расслоений) приварка муфты к трубе запрещается;

- проводят очистку поверхности муфт от ржавчины пескоструйной обработкой или металлической щеткой. Дефекты в виде трещин, закатов, вмятин на поверхности муфт не допускаются. В процессе зачистки необходимо устранить дефекты, выявленные на муфте в виде царапин и задиров глубиной более 0,2 мм и не превышающие 5% толщины стенки муфты. Толщина стенки муфты в местах зачистки не должна выходить за пределы минусового допуска;

- далее проверяют фактическую толщину стенки муфты ультразвуковым толщиномером, а размеры кромок – шаблоном сварщика;

- проводят очистку кромок и прилегающих к ним наружной и внутренней поверхности муфт на ширину не менее 20,0 мм до чистого металла;



Машины и автоматизация сварочного производства

- шлифуют усиление заводских продольных сварных швов на трубе в месте установки муфты (с учетом технологических колец) до величины, не превышающей 0,5-1,0 мм. Места снятия усиления швов должны быть ровными и не иметь недопустимых дефектов;

- подкладные пластины, формирующие корень продольного шва, следует прикрепить на прихватках к одной полумуфте со стороны разделки кромки продольного шва для исключения приварки муфты к основной трубе трубопровода. Подкладки выполняют из малоуглеродистой стали (Ст 3, сталь 10, сталь 20) толщиной от 1,0 до 1,2 мм и шириной от 35 до 40 мм по всей длине продольных швов. Прихватки устанавливают с шагом 300 мм, длина прихватки от 10 до 15 мм. Дальнейшую сборку конструкции полумуфты выполняют на трубе. Подкладка должна выступать с каждой стороны продольного стыка на величину не более 30-40 мм. Перекос подкладки от оси шва не допускается. *Запрещается приварка продольного шва муфты к трубопроводу;*

- затем устанавливают на трубу две полумуфты и производят их сборку и фиксацию на трубе. При установке на трубу муфта должна перекрывать дефект на расстоянии не менее 100 мм с каждой стороны. Продольные швы муфты должны быть смещены относительно продольных швов трубопровода на расстояние не менее 100 мм. Расстояние между началом (концом) муфты и кольцевым стыком на трубопроводе – не менее 100 мм. Расстояние между началом (концом) муфты (с учетом технологического кольца) и ближайшим дефектом должно быть достаточным для его устранения;

- перед сваркой производят проверку зазора и смещение стыкуемых кромок, а также зазора между стенками муфты и основной трубой трубопровода по всему периметру. Стыки под сварку должны собираться с технологическими зазорами от 2,0 до 4,0 мм. Смещение стыкуемых кромок муфты не должно превышать 20% толщины стенки, но не более 3,0 мм. Муфта (или её элементы) должны плотно прилегать по периметру трубы или с зазором не более 3 мм. Допускаются участки с зазором между полумуфтой и трубой до 5,0 мм, при этом длина таких участков не должна превышать 300 мм;

- затем выполняют предварительный подогрев продольных кромок муфты непосредственно перед прихваткой. Необходимость предварительного подогрева и его параметры определяются по табл.6.4. Предварительный подогрев следует производить с использованием плоских газовых подогревателей или газовых горелок, ука-



занных в операционно-технологической карте сборки и сварки ремонтных конструкций и согласованных со службой охраны труда ведения ремонтных работ. Ширина зоны нагрева должна быть не менее 100 мм. Температуру подогрева обычно контролируют контактными или бесконтактными термометрами или термокарандашами. Контрольные замеры температур необходимо выполнять не менее чем в трех точках в зависимости от длины продольного стыка;

- производят соединение полуцилиндров муфты на прихватах по всей длине продольных стыков муфты. Длина прихваток должна быть 60-100 мм. Прихватки выполняют равномерно по длине стыка. Количество прихваток определяется длиной продольного стыка, но не менее 3 шт. Концы каждой прихватки необходимо зашлифовать. Сборка стыка на прихватках должна обеспечить гарантированное проплавление кромок, нормативные зазоры и исключить недопустимое смещение кромок. Прихватки с недопустимыми дефектами удаляют шлифмашинкой и заваривают вновь.

Особенности сборки ремонтной конструкции П9 (разрезной тройник, см. рис.6.18). Ремонтная конструкция П9 предполагает заводское изготовление, поэтому к месту монтажа поступают две полумуфты, одна из которых представляет собой полуцилиндр с приваренным к нему патрубком (без эллиптической заглушки).

Перед сборкой и сваркой разрезного тройника следует выполнить разметку кольцевых угловых швов «муфты - труба», удалить с помощью шлифмашинки усиление заводского шва на участке установки муфты плюс 50 мм в каждую сторону. Остаточная высота усиления должна находиться в пределах от 0,5 до 1,0 мм. Выполнить неразрушающий контроль качества этих участков.

Для сборки полумуфт и обеспечения зазора между ними используют приспособление для монтажа тройников или наружные звенные центраторы, или другие, аналогичные им. Центраторы устанавливают одновременно с обоих торцов муфты.

С обеих сторон полумуфты с патрубком устанавливают подкладные пластины, прикрепляя их на прихватках со стороны разделки кромок продольного шва. Шаг установки прихваток 300 мм, длина прихватки от 10 до 15 мм.

Зазор между кромками полумуфт и трубой должен составлять не более 3 мм. Допускаются участки с зазором между кромками полумуфты и трубой до 5 мм. При этом длина такого участка не должна превышать 300 мм.



Если при сборке полумуфт зазор между продольными кромками полумуфт хотя бы в одном из стыков оказывается меньше 2 мм, следует доработать одну из кромок полумуфты шлифовальной машинкой. Для предотвращения образования дефектов в начале и конце стыковых продольных швов полумуфт устанавливают выводные планки, изготовленные в виде пластины из малоуглеродистой стали толщиной от 3 до 5 мм и шириной, равной толщине стенки свариваемых полумуфт плюс 10 мм.

Перед началом сварки выполняют просушку поверхности трубы на участке приварки патрубка.

Сварку выполняют с предварительным и сопутствующим подогревом стыка в соответствии с рекомендациями табл.6.4.

После выполнения предварительного подогрева, одновременно на обоих продольных стыках полумуфт производят сварку трех прихваток длиной от 30 до 100 мм каждая, равномерно распределив их по длине каждого стыка. Перед сваркой прихваток должны быть полностью удалены прихватки, с помощью которых были установлены подкладные пластины.

Муфту приваривают угловыми кольцевыми швами к трубе. Швы со стороны трубы должны иметь больший катет для уменьшения концентрации напряжений, аналогично тому, как это изображено на рис.6.8.

После сварки усиливающей муфты производится сборка эллиптического днища (заглушки) с патрубком ремонтной конструкции П9. Сборку стыка следует осуществлять с помощью наружного центратора или центрирующих приспособлений.

Установка необжимной муфты типа В1 (см. рис.6.16) производится в следующей последовательности:

- в месте установки муфты усиление продольных сварных швов удаляют абразивным инструментом;
- на сварной стык устанавливают полуобечайки двух боковых колец и соединяют их между собой продольным швом;
- на каждом боковом кольце выполняют сварку кольцевых швов с наружной и внутренней стороны;
- на боковые кольца устанавливают два полуцилиндра центрального кольца, производят сборку и сварку продольных швов, после этого выполняют сварку кольцевых швов, присоединяющих центральное кольцо к боковым. Угловой шов должен иметь больший катет со стороны бокового кольца;



Машины и автоматизация сварочного производства

- по обе стороны от боковых колец устанавливают полуобечайки технологических колец, производят их сборку, после чего выполняют сварку продольных швов;

- затем выполняют сварку кольцевых швов, присоединяющих технологические кольца к боковым кольцам (аналогично тому, как это показано на рис.6.9), наружные концы технологических колец к трубе не привариваются;

- в технологические отверстия заливают антикоррозионную жидкость и вворачивают винты, закрученные винты обваривают по окружности ручной дуговой сваркой.

Установка муфты с коническими переходами типа В2 (см. рис.6.17) производится в следующей последовательности:

- в месте установки муфты зашлифовывают усиление продольных сварных швов;

- на сварочном стенде выполняют сборку и сварку полумуфт;

- устанавливают на трубу две полумуфты и выполняют сборку муфты;

- выполняют сварку продольных швов на металлической подкладке в местах контакта цилиндрической части муфты с трубой;

- выполняют сварку кольцевых швов на участке «муфта-труба»;

- по обе стороны от муфты устанавливают полуобечайки технологических колец, производят их сборку, а затем выполняют сварку продольных швов;

- выполняют сварку кольцевых швов в зоне «технологическое кольцо–труба–муфта», наружные концы технологических колец к трубе не привариваются;

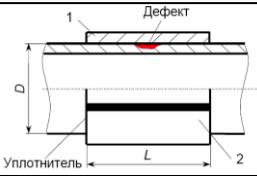
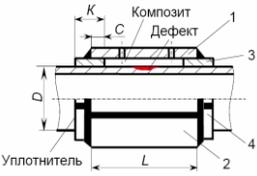
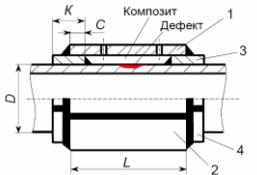
- после монтажа муфты заполняют через технологические отверстия антикоррозионной жидкостью, вворачивают винты и обваривают по окружности ручной дуговой сваркой.

6.4. Конструкция муфт, рекомендованная нормативными документами для ремонта газопроводов

При ремонте газопроводов стальными сварными муфтами должны применяться конструкции муфт, изготовленные в заводских условиях по специальным ТУ, согласованным с ОАО «Газпром». Конструкции муфт приведены в табл.6.5. Размеры муфт и элементов муфт приведены в табл.6.6.

Допускается изготовление муфт конструкций №1-5 (табл.6.5) в условиях трубосварочных баз при достаточной технической оснащённости оборудованием для изготовления элементов муфт (полумуфт, полуколец). Механическую подготовку их кромок для сварки стыковых и угловых сварных соединений необходимо выполнять по рабочим чертежам и технологическим картам сварки, разработанным, согласованным и утвержденным дочерним предприятием ОАО «Газпром», в котором проводится ремонт газопроводов.

Таблица 6.5
Конструкции муфт для ремонта дефектов газопроводов

Номер муфты	Наименование	Общий вид	Состав конструкции
1	2	3	4
1	Негерметичная сварная стальная муфта		1 – полумуфта верхняя (1 шт.) 2 – полумуфта нижняя (1 шт.) Подкладные пластины под продольные швы полумуфт (2 шт.)
2	Негерметичная сварная стальная муфта		1 – полумуфта верхняя (1 шт.) 2 – полумуфта нижняя (1 шт.) 3 – полукольцо верхнее (2 шт.) 4 – полукольцо нижнее (2 шт.) Подкладные пластины под продольные швы полуколец (4 шт.)
3	Герметичная сварная стальная муфта		1 – полумуфта верхняя (1 шт.) 2 – полумуфта нижняя (1 шт.) 3 – полукольцо верхнее (2 шт.) 4 – полукольцо нижнее (2 шт.) Подкладные пластины под продольные швы полуколец (4 шт.)

Окончание табл.6.5

1	2	3	4
4	Герметичная сварная стальная муфта (узел)		<p>1 – полумуфта внутренняя верхняя (1 шт.) 2 – полумуфта внутренняя нижняя (1 шт.) 3 и 4 – полумуфты наружная верхняя и нижняя (по 2 шт.) 5 – полукольцо верхнее (2 шт.) 6 – полукольцо нижнее (2 шт.) Подкладные пластины под продольные швы (6 шт.)</p>
5	Герметичная сварная стальная муфта (узел)		<p>1 – полумуфта внутренняя верхняя 2 – полумуфта внутренняя нижняя 3 – полумуфта наружная верхняя 4 – полумуфта наружная нижняя (по 1 шт. каждой) 5 – полукольцо верхнее (2 шт.) 6 – полукольцо нижнее (2 шт.) Подкладные пластины под продольные швы (6 шт.)</p>
6	Герметичная сварная стальная муфта (узел)		<p>1 – полумуфта верхняя (1 шт.) (полумуфта + два полуднища) 2 – полумуфта нижняя (1 шт.) (полумуфта + два полуднища) 3 – полукольцо верхнее (2 шт.) 4 – полукольцо нижнее (2 шт.) Подкладные пластины под продольные швы полуколец (4 шт.)</p>
7	Герметичная сварная стальная муфта (узел)		<p>1 – полумуфта верхняя (1 шт.) (полумуфта + два полуперехода) 2 – полумуфта нижняя (1 шт.) (полумуфта + два полуперехода) 3 – полукольцо верхнее (2 шт.) 4 – полукольцо нижнее (2 шт.) Подкладные пластины под продольные швы полуколец (4 шт.)</p>
7а	Герметичная сварная стальная муфта (узел)		<p>1 – полумуфта верхняя (1 шт.) 2 – полумуфта нижняя (1 шт.) 3 – полукольцо верхнее (2 шт.) 4 – полукольцо нижнее (2 шт.) Подкладные пластины под продольные швы полуколец (4 шт.)</p>



Стальные сварные муфты для ремонта дефектов труб и сварных соединений газопроводов могут быть: негерметичные усиливающие муфты I типа, герметичные усиливающие II типа. Негерметичные усиливающие муфты I типа (конструкции №1, 2) при монтаже на газопровод не привариваются к стенке ремонтного участка газопровода, герметичные усиливающие муфты и муфтовые узлы II типа (конструкции №3-7) – привариваются к стенке ремонтного участка газопровода кольцевыми угловыми швами с внутренней стороны технологического кольца (рис. 6.7, б).

Таблица 6.6

Размеры муфт и элементов муфт конструкций №1-7

Диаметр ремонтируемой трубы, мм	Размеры конструктивных элементов муфт, мм						
	<i>L</i>	<i>K</i>	<i>M</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>L_I</i>	<i>K_I</i>
До 720 включ.	300–3000	120–300	240–350	100–150	70–100	до 6000	250–350
Св. 720 до 1420 включ.	300–3000	150–300	260–400	120–200	70–100	до 6000	300–350

Примечание:

L – длина муфты конструкций №1, 2, 3; длина внутренней муфты конструкций №4, 5;

K – ширина кольца в муфтах конструкций №2, 3, 4, 5;

M – длина наружной муфты конструкции №4;

B – расстояние между внутренней муфтой и кольцами в муфтах конструкций №4, 5;

C – величина нахлеста наружной муфты на кольца в муфтах конструкций №2, 3, 4, 5;

L_I – длина муфты в муфтах конструкции №5 и цилиндрической части муфты в конструкциях №6, 7;

K_I – ширина кольца в муфтах конструкций №6, 7,а.

Для изготовления элементов муфт (полумуфты, полукольца) должны применяться электросварные прямошовные трубы отечественных или зарубежных заводов-производителей, рекомендованные к применению нормативными документами ОАО «Газпром», с характеристиками, не ниже характеристик ремонтного участка газопровода по следующим параметрам: рабочее давление; номинальная толщина стенки; временное сопротивление; предел текучести; относительное удлинение; ударная вязкость; эквивалентное содержание углерода (но не более 0,44%); испытательное давление, гарантированное заводом; коэффициент надежности по материалу.

Муфты и элементы муфт в зависимости от типа и конструктивного исполнения изготавливают с внутренними диаметрами, соответствующими наружному диаметру ремонтируемого газопровода, с учетом (или без учета) толщины стенки полукольца, в пределах допусков, указанных в ТУ на изготовление муфт.

Материалы, применяемые при изготовлении муфт и элементов муфт, должны иметь сертификаты качества, паспорта. Не допускает-



ся изготовление муфт и элементов из труб, не имеющих сертификатов качества, а также бывших в эксплуатации.

Как в заводских, так и в условиях трубосварочных баз муфты изготавливают из труб с одним продольным швом на каждой полумуфте (верхней, нижней). При этом каждый продольный сварной шов полумуфт должен иметь положительное заключение по результатам неразрушающего контроля физическими методами. Расположение продольного шва на каждой полумуфте должно быть на расстоянии не менее 300 мм от продольных сварных швов муфты, выполняемых при монтаже муфты на газопроводе.

На внутренней поверхности полумуфт, полуколец заводского изготовления в зоне свариваемых кромок продольных стыковых соединений должна быть выполнена выборка механическим способом (фрезерованием) для установки подкладной пластины с целью исключения сварки (приварки) продольным швом муфты и колец к поверхности ремонтируемого газопровода.

Подкладные пластины под продольные швы полумуфт (конструкция №1), полуколец (конструкции №2-7) должны изготавливаться из малоуглеродистой листовой стали марок ВСт.Зсп, 10, 20 толщиной от 2,0 до 3,0 мм, шириной от 25 до 35 мм. Поверхность подкладных пластин, свариваемую с полумуфтами и полукольцами, необходимо зачистить до металлического блеска.

Муфты должны поставляться комплектно со всеми элементами муфт и иметь паспорта. На внутренние и наружные поверхности муфт и элементов муфт наносится яркой несмываемой краской маркировка и условное обозначение. Внутренние поверхности полумуфт и полуколец должны быть обработаны антикоррозийными консервационными материалами.

Для заполнения межтрубного пространства композитными материалами (типа эпоксидной смолы) или антикоррозийными консервационными жидкостями допускается на верхней половине полумуфт (конструкции №2-7) выполнять два технологических отверстия.

Выбор материалов и порядок заполнения межтрубного пространства должен быть согласован с организацией, эксплуатирующей ремонтируемый газопровод, и выполняться по отдельным технологическим инструкциям. После заполнения межтрубного пространства технологические отверстия герметизируются резьбовыми пробками, торцы муфт (конструкция №1), колец (конструкции №2-7) – герметиком.

Межтрубное пространство (зазор) между муфтой и ремонтируемым газопроводом (конструкции №6, 7) при ремонте сквозных дефектов должно обеспечивать возможность установки временной муфты (хомута) для герметизации выхода продукта, при этом:



Машины и автоматизация сварочного производства

- для газопровода наружным диаметром 426 и 530 мм рекомендуется муфта наружным диаметром 720 мм;
- для труб $\varnothing 720$ мм – муфта наружным диаметром 1020 мм;
- для труб $\varnothing 1020$ мм – муфта $\varnothing 1220$ мм;
- для труб $\varnothing 1220$ мм – муфта $\varnothing 1420$ мм.

Необходимость и параметры подогрева металла трубы перед сваркой устанавливаются в зависимости от прочности материала трубы, толщины стенки и температуры окружающей среды при ремонте. Рекомендации приведены в табл.6.7.

Таблица 6.7

Температура подогрева перед сваркой

Нормативный предел прочности трубы, МПа (кгс/мм ²)	Толщина стенки трубы, мм	Температура и условия подогрева
До 510 (52)	До 12 включительно	До 100 ⁰ С при температуре воздуха –20 ⁰ С и ниже
	Свыше 12	До 100 ⁰ С при отрицательной температуре воздуха
Свыше 510 (52) до 550 (56) включительно	7 – 9	До 100 ⁰ С при отрицательной температуре воздуха
	9,5 - 14	До 100 ⁰ С при любой температуре воздуха
	Свыше 14	До 150 ⁰ С при любой температуре воздуха



7. РЕМОНТ ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ДЕТАЛЕЙ НАПЛАВКОЙ

7.1. Ремонт с применением дуговой наплавки

При ремонте наплавку металла на поверхность детали или конструкции обычно применяют в следующих случаях:

- для устранения коррозионных повреждений (магистральные и технологические трубопроводы, сосуды, котлы);
- для восстановления исходного размера детали, изменившегося в результате износа (оси, валы, ползуны, поршни, опоры, подшипники);
- для восстановления на поверхности детали слоя со специальными свойствами, например, антикоррозионного, износостойкого покрытия и др. (детали дорожной техники, металлургическое оборудование, режущие кромки инструментов и агрегатов).

В первом приближении технология ремонта включает несколько этапов:

- подготовку деталей к ремонту, их очистку, дефектацию и оценку целесообразности их восстановления;
- выбор способа восстановления;
- составление технического задания на ремонт в зависимости от объемов ремонта; учет специфики ремонта;
- составление технологической схемы ремонта;
- определение необходимости механической, термической и химико-термической обработки деталей до и после ремонта;
- составление маршрутной технологии;
- выбор оборудования, приспособлений, средств технологического оснащения;
- выполнение наплавки поврежденной поверхности;
- обработку деталей после восстановления поврежденного участка;
- выполнение контроля качества ремонта.

Нанесение материала на поверхность сварных конструкций и деталей машин может осуществляться: наплавкой, напылением, ме-



Машины и автоматизация сварочного производства

таллизацией, гальваническими способами, пайкой, применением металлополимерных покрытий и пластмасс.

В настоящее время 75-80% объема работ, связанных с нанесением металла на поверхность ремонтируемых конструкций и деталей машин, выполняется различными видами сварки плавлением, главным образом, дуговой наплавки. Поэтому основное внимание в данном пособии будет уделено технологическим приемам ремонта с применением дуговой наплавки.

Наплавка – это нанесение слоя расплавленного металла на оплавленную поверхность детали или нагретую до температуры надежного смачивания жидким наплавленным металлом с целью восстановления формы и размеров изношенных поверхностей или получения слоя с особыми свойствами.

Преимущества дуговой наплавки:

- возможность одновременного решения двух задач: восстановление геометрии деталей и создание поверхности металла со специальными свойствами;

- возможность нанесения покрытий большой толщины на поверхности большой площади. Например, наплавка коррозионно-стойкими сталями внутренних поверхностей сосудов высокого давления, конусов доменных печей;

- высокая производительность (до 15-25 кг/ч для ленточного электрода);

- отсутствие ограничений по размерам наплавливаемых деталей и их поверхностей;

- простота оборудования. Для наплавки, как правило, используется типовое сварочное оборудование;

- простота выполнения автоматической наплавки, не требующей высокой квалификации оператора (за исключением ручной дуговой наплавки);

- возможность нанесения износостойкого покрытия на основной металл любого состава. В тех случаях, когда материал ремонтируемой детали относится к ограниченно свариваемым материалам, перед наплавкой наносят подслой соответствующего состава;

- возможность управления свойствами наплавленного металла за счет выбора электродов, керамических флюсов, порошковой проволоки, легированной электродной проволоки соответствующего состава;

- повышение эффективности процесса путем сочетания наплавки с другими способами поверхностной обработки.



Машины и автоматизация сварочного производства

Вместе с тем наплавка обладает рядом недостатков:

- изменение свойств наплавленного металла из-за перехода в него элементов основного металла;
- значительная деформация изделий, связанная с неравномерным нагревом конструкции по сечению;
- требование высокой квалификации сварщиков при использовании ручной дуговой сварки;
- трудность наплавки изделий малого размера (диаметра).

По виду защиты расплавленного металла наплавка подразделяется на ручную дуговую сварку покрытым электродом (с защитой шлаком и газом), под флюсом (плавным или керамическим) с защитой шлаком, в защитных газах (активных или инертных), порошковой проволокой (самозащитной или в CO_2), наплавку в вакууме и с комбинированной защитой.

По степени механизации наплавка подразделяется на ручную, механизированную, автоматическую, роботизированную;

По виду электродов наплавка может осуществляться проволочным, ленточным (в виде холоднокатаной, металлокерамической или литой лентой), а также комбинацией электродной проволоки и ленты;

Наплавка разделяется также *по типам и свойствам наплавленного металла*. В большинстве случаев при ремонте для наплавки используют сварочные материалы, близкие по химическому составу и свойствам к металлу изношенной поверхности.

Дуговым способом наплавки свойственен недостаток – жесткая связь производительности наплавки с глубиной проплавления через сварочный ток. Стремление повысить производительность ремонта за счет увеличения силы сварочного тока всегда наталкивается на ограничения, связанные с недопустимым увеличением глубины проплавления.

Глубокое проплавление вызывает излишние деформации ремонтируемой конструкции и перерасход энергии, может привести к прожогу наплавляемой детали, кроме того, чрезмерная глубина проплавления способствует увеличению доли основного металла в наплавленном слое, что может изменить свойства металла наплавленного слоя.

При дуговой наплавке глубину проплавления можно оценивать исходя из величины погонной энергии q_n .



$$q_n = \frac{0,24 I_c U_{\partial} \eta}{V_{св}}, \text{ кал/см,}$$

где η – эффективный КПД дуги.

Значение глубины проплавления a_n может быть получено на основе теории тепловых процессов при сварке [25].

$$a_n = 0,0156 \sqrt{\frac{q_n}{\Psi_{np}}},$$

где Ψ_{np} – коэффициент формы проплавления, определяемый по эмпирической формуле

$$\Psi_{np} = K'(19 - 0,01I) \frac{d_s U_{\partial}}{I};$$

$$\Psi_{np} = \frac{e}{a_n},$$

где e – ширина одиночного валика.

Например, при $I=450$ А, $U_{\partial} = 35$ В, $V_n = 25$ м/ч, $\eta=0,85$, $j=63,7$ А/мм², $d_s = 3,0$ мм, $K'=0,8$, $q_n = 4590$ кал/см, получаем $a_n = 0,64$ см.

Значение K' в зависимости от плотности тока изменяется от 0,7 для $j=30$ А/мм² до 0,9 при $j=110$ А/мм².

Между толщиной наплавляемой детали S и глубиной проплавления должно выполняться неравенство $a_n < 0,8S$. Многие нормативные документы не рекомендуют производить ремонт поврежденной поверхности конструкции наплавкой, если толщина металла в зоне ремонтной наплавки менее 5 мм.

Для уменьшения неравномерности поверхности наплавленного слоя при дуговой наплавке необходимо обеспечить перекрытие наплавляемых валиков Π (рис.7.1) на 0,5 или 0,33 их ширины (за исключением наплавки ленточным электродом, когда величина перекрытия устанавливается не относительной, а абсолютной величиной).



Машины и автоматизация сварочного производства

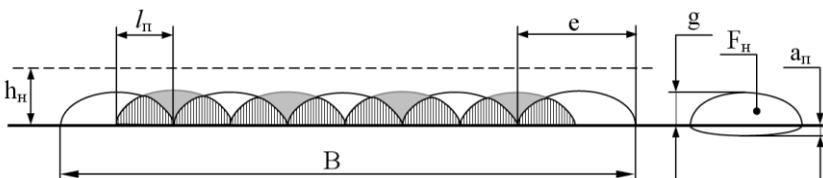


Рис.7.1. Схема перекрытия наплавляемых валиков: B – ширина наплавляемого слоя; h_n – условная высота наплавляемого слоя; F_n – площадь наплавки одиночного валика; $l_n = \Pi \cdot e$, где Π – перекрытие валиков

Из очевидного равенства $B \cdot h_n = n_e \cdot F_n$, принимая $F_n = 0,8eg$ при $\Pi = 0,5$ и $B > \Pi \cdot e$, окончательно получим $h_n \approx 1,6g$. С некоторым запасом принимают $h_n = (1,4 \dots 1,5)g$ [26].

Коэффициент 0,8 в формуле для F_n можно считать как округленное значение числа $\pi/4 = 0,785$, принимая очертание валика за полуэллипс.

$$n_e = \frac{1}{1 - \Pi} \left(\frac{B}{e} - 1 \right) + 1.$$

Для ручной дуговой наплавки $F_n = (6 \dots 12)d_s$.

Для механизированных способов наплавки на средних по току режимах принимают $F_n = 0,2 \dots 0,5 \text{ см}^2$.

Технология ручной наплавки такая же, как при ручной сварке. В зависимости от степени повреждения деталь наплавляют одним, двумя и более слоями.

При многослойной наплавке больших поверхностей рекомендуется во избежание коробления детали применять обратноступенчатый способ сварки, а также валики одного слоя накладывать поперек направления валиков предыдущего слоя. Наплавка должна производиться на основной металл. Если деталь ранее была уже наплавлена, то старый слой рекомендуется удалить одним из слесарно-механических способов.

Ручная дуговая наплавка производится, как правило, уширенными валиками с поперечными перемещениями электрода $e = (2 \dots 5)d_s$. Одиночные валики накладывают с перекрытием $(0,33 \dots 0,5)e$.

Выбор типа и марки электрода зависит от свойств материала ремонтируемой детали и требований к свойствам наплавленного слоя, т.е. от тех целей, которые преследуются при ремонте конструк-



ции. Выбор диаметра электрода зависит от допустимого диапазона погонной энергии при сварке. С увеличением погонной энергии возрастает производительность процесса и уменьшается скорость охлаждения металла, что при наплавке износостойких покрытий может позволить избежать появления трещин, но при малой толщине стенки наплавляемой детали возможно образование прожогов и коробления конструкции.

Режим наплавки определяется диаметром электрода и должен быть уточнен по паспорту электрода. В паспорте электрода указаны рекомендуемые значения сварочного тока для всех пространственных положений, а также приводятся значения коэффициентов наплавки и расхода покрытых электродов, необходимые для расчета производительности процесса и нормирования расхода материалов. В паспорте электрода указываются механические свойства металла шва и химический состав наплавленного металла. Если наплавка выполняется с целью восстановления упрочненного (например, стойкого к абразивному износу) слоя, для наплавочных электродов указывается твердость наплавленного металла по слоям наплавки, а также приводятся значения твердости четвертого слоя – практически чистого наплавленного металла.

В разделе сварочно-технологических свойств электродов для наплавки приводятся данные по устойчивости дуги, формированию наплавленного валика, набрызгиванию, отделимости шлаковой корки, склонности к образованию трещин.

Электроды для ручной дуговой наплавки металла со специальными свойствами выпускают по ГОСТ 100051-75.

7.2. Ремонт поверхностей, поврежденных коррозией

Рассмотрим пример ремонта поверхности магистрального трубопровода, имеющего на поверхности коррозионные повреждения.

Перед проведением ремонта с поверхности трубы должны быть удалены остатки изоляции, грязь, масла. Поврежденный участок (рис.7.2, а, б) должен быть обработан (выборка поврежденного металла) до полного удаления продуктов коррозии и возможных поверхностных микротрещин.

Выборка дефектных мест на основном металле и последующая её заварка допускается, если расстояние от места выборки до сварных швов не менее трех толщин основного металла и не менее 100 мм. Выборку рекомендуется выполнять механическим способом, плазменно-дуговой или воздушно-дуговой строжкой. Если использо-

Машины и автоматизация сварочного производства

валась плазменно-дуговая или воздушно-дуговая строжка, то для удаления науглероженного слоя в зависимости от материала конструкции должна быть предусмотрена операция по удалению этого слоя фрезерованием или шлифовкой.

Обычно допустимая глубина выборки должна быть не более 60% толщины стенки конструкции или сварного шва, остаточная толщина стенки h не менее 5 мм. Максимальная площадь выборки (круглой, овальной или прямоугольной формы) не должна превышать 500 см^2 .

До начала выборки дефектного участка независимо от температуры воздуха должна быть проведена просушка газоплазменными нагревательными устройствами до температуры в интервале $50\text{-}70^\circ\text{C}$.

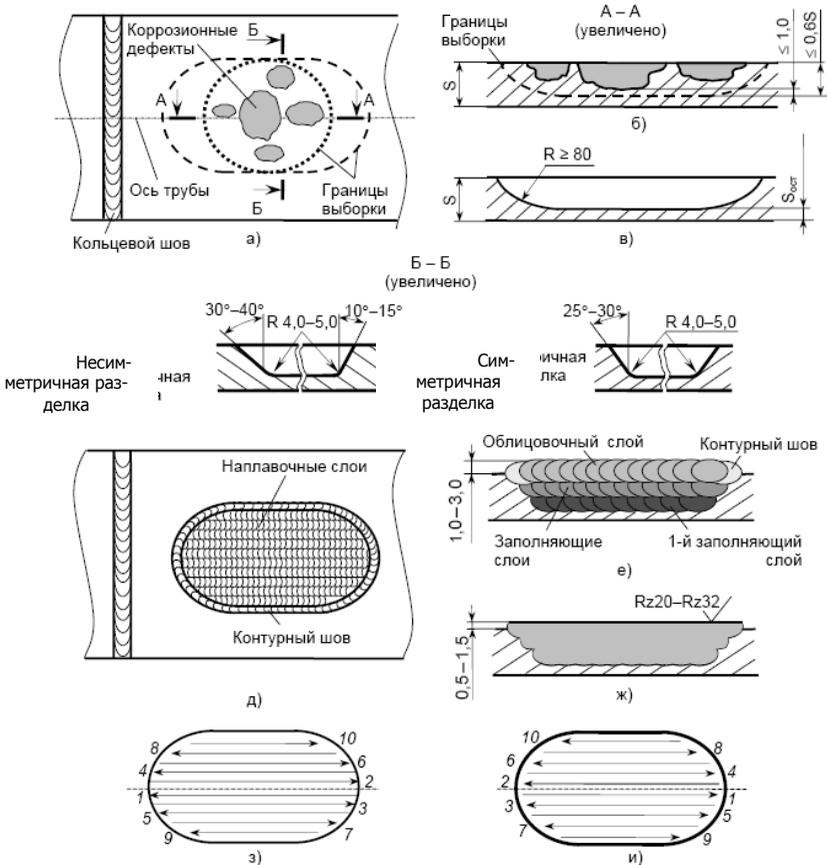


Рис.7.2. Последовательность ремонта стенки трубопровода, поврежденного коррозией: а – разметка коррозионного дефекта; б – границы выборки в про-



Машины и автоматизация сварочного производства

дольном сечении (А-А); в – выборка в продольном сечении (А-А); г – выборка в поперечном сечении (Б-Б); д – сварка (наплавка) дефектного участка; е – геометрические параметры наплавки дефектного участка; ж – геометрические параметры наплавки дефектного участка после зачистки облицовочного слоя; з – направление сварки нечётных заполняющих слоёв; и – направление сварки чётных заполняющих слоёв

Углубление (кратер) должно иметь чашеобразную форму с плавным выходом краев на поверхность трубы (рис.7.2, в), чтобы обеспечивать равномерное и качественное наложение валиков.

В продольном сечении длина выборки должна превышать фактическую длину дефектного участка не менее чем на 30 мм в каждую сторону. Необходимо, чтобы в поперечном сечении она имела U-образную форму с симметричной или несимметричной разделкой. При расположении дефекта в нижнем или потолочном положениях рекомендуется симметричная разделка кромок в поперечном сечении с углом скоса 25-30°. При расположении дефекта на вертикальной плоскости – несимметричная с углами скоса кромок от 30 до 40° (верхняя) и от 10 до 15° (нижняя).

Прилегающие к кратеру участки должны быть зачищены до металлического блеска на ширину не менее 15 мм.

Полноту удаления дефектов, отсутствие трещин необходимо проверить методом цветной или магнитной дефектоскопии.

Перед сваркой производят подогрев металла. Необходимая температура нагрева при наплавке зависит от марки основного и наплавляемого материалов, температуры окружающего воздуха и толщины стенки ремонтируемой конструкции. Величину этой температуры устанавливают по соответствующим нормативным документам.

На подготовленную поверхность наплавляют отдельные валики с перекрытием 0,3-0,5 ширины валика. Валики рекомендуется наплавлять перпендикулярно оси трубы, чтобы уменьшить влияние дефектов типа несплавления, появление которых можно ожидать при ручной дуговой сварке.

При необходимости сварку выполняют в несколько слоев (рис.7.2, г).

После заполнения кратера, вокруг его границ наплавляют непрерывный валик (шириной 8-10 мм) для того, чтобы исключить концентраторы напряжений по контуру наплавленной зоны, обеспечивая плавный переход от наплавки к основному металлу вдоль всей

Машины и автоматизация сварочного производства

границы наплавки (см. рис.7.2, г). Высота кругового контурного валика 3-5 мм.

Контурный шов рекомендуется выполнять с колебаниями электрода перпендикулярно к граничной линии. Ширина контурного шва 6-12 мм. Начало и конец шва необходимо зачистить шлифовальным кругом, кратеры шва тщательно заварить. Контурный шов должен иметь плавный переход к основному металлу при полном отсутствии подрезов.

Внутри образованного кольцевым швом контура производят наплавку облицовочных валиков (рис.7.2, д).

Отремонтированный участок необходимо подвергнуть визуально-измерительному, ультразвуковому и магнитопорошковому контролю.

После завершения сварки дефектного участка поверхность облицовочного и контурного слоев должна быть обработана шлифовальным кругом до ровной поверхности и иметь усиление 0,5-1,0 мм.

При ремонте конструкций путём многослойной наплавки поверхностей относительно небольшой площади (менее 500 см²) рекомендуется принимать меры по выравниванию продольной и поперечной деформации. Для этого рекомендуется чередовать направление наплавки. Так, при ремонте труб путём наплавки рекомендуется нечётные слои выполнять в направлении, перпендикулярном к оси трубы, а чётные – вдоль её оси.

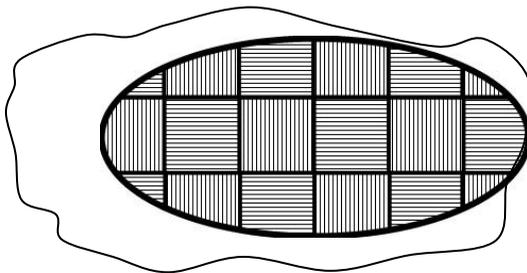


Рис.7.3. Направление сварки валиков на соседних участках при ремонте поврежденных участков большой (>500см²) площади

При ремонте путём наплавки поверхностей большой площади рекомендуется разбивать её на равносторонние прямоугольники со сторонами 100-150 мм. В пределах каждого прямоугольника наплавляют параллельные валики, изменяя направление этих валиков в смежных прямоугольниках, как показано на рис.7.3.



7.3. Ремонт с применением автоматической наплавки

Несмотря на то, что на практике наибольшее применение находит ручная дуговая наплавка штучными электродами, при возможности необходимо стремиться к применению механизированной, автоматической или роботизированной наплавки. При этом могут применяться:

- механизированная и автоматическая наплавка проволокой сплошного сечения под плавным и керамическим флюсами;
- механизированная и автоматическая наплавка в среде защитных газов, инертных и активных;
- аргодуговая наплавка неплавящимся электродом с использованием присадочных прутков;
- наплавка порошковыми проволоками, в том числе самозащитными.

Ремонт с применением автоматической сварки под флюсом

По сравнению с вышеперечисленными, наплавка под флюсом характеризуется более совершенной защитой расплавленного металла от кислорода и азота воздуха, отсутствием разбрызгивания и высокой производительностью, в некоторых случаях на порядок превышающей производительность ручной дуговой наплавки.

Наплавка под флюсом позволяет использовать большие токи, чем при наплавке в защитных газах или порошковой проволокой, и характеризуется большими плотностями тока ($35-150 \text{ А/мм}^2$), тогда как при ручной дуговой наплавке плотность тока не превышает $10-15 \text{ А/мм}^2$, что позволяет существенно повысить производительность.

К основным параметрам режима автоматической наплавки под флюсом, которые оказывают существенное влияние на геометрию наплавляемых валиков, относятся сварочный ток, напряжение дуги, скорость сварки, диаметр электрода и его вылет, грануляция флюса, род тока, полярность.

При оптимальном режиме наплавки под флюсом (рис.7.4) поверхность валиков получается достаточно гладкой с плавным переходом к основному металлу [27].

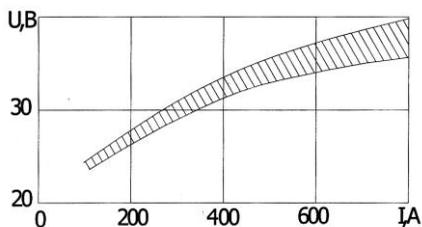


Рис.7.4. Область оптимальных режимов наплавки, обеспечивающих гладкую поверхность наплавленного слоя

Следует отметить, что наплавка под флюсом аналогична сварке под флюсом. Поэтому в данном пособии не рассматриваются общие положения технологии этих процессов.

В табл.7.1 приведены рекомендуемые режимы наплавки поверхностей малой кривизны в зависимости от степени износа деталей.

Таблица 7.1
Рекомендуемый режим наплавки плоской поверхности
в зависимости от износа детали

Износ, мм	$d_{пр}$, мм	Сила тока, А	Скорость наплавки, м/ч	Напряжение на дуге, В	Род тока
2 - 3	2	160-220	20-25	30-32	Постоянный
3 - 4	2	340-350	25	32-34	Постоянный или переменный
4 - 5	3	360-460	20-25	32-34	Постоянный или переменный
5 - 6	5	650-700	25-30	34-36	Постоянный или переменный

При наплавке поверхностей с большой кривизной режимы, приведенные в табл.7.1, необходимо корректировать, чтобы предотвратить стекание расплавленного металла с наплавляемой поверхности.

Следует иметь в виду, что основные преимущества сварки под флюсом можно реализовать только при сварке в нижнем положении, поэтому данный способ ремонта применяют главным образом в условиях цеха.

Существует несколько разновидностей схем применения автоматической наплавки под флюсом. Простейшей из них является наплавка отдельных параллельных валков на таком расстоянии друг



от друга, чтобы не требовалось удалять шлаковую корку отдельно с каждого валика. Шлак удаляют со всех валиков сразу, затем наплавляют валики в свободных промежутках, поэтому расстояние между соседними валиками должно быть таким, чтобы обеспечить требуемое перекрытие валиков по ширине ($\Gamma=0,33-0,5$) и получить ровную поверхность наплавленного слоя. Такую схему называют *наплавка раздвинутыми валиками*. Глубина проплавления основного металла по сравнению с другими способами наплавки получается большой, в результате чего возникает значительное коробление изделия и, главное, возрастает доля участия основного металла в металле наплавленного слоя, что во многих случаях может существенно повлиять на его свойства.

В тех случаях, когда имеется возможность выполнять наплавку ремонтируемой поверхности прямолинейными валиками, механизация наплавки раздвинутыми валиками не представляет особых трудностей.

При наплавке поверхностей сложной формы (выпуклые, вогнутые или требующие наплавки криволинейных валиков на плоскости) возникает проблема обеспечения эквидистантного расположения наплавляемых валиков. Пример механизации наплавки раздвинутыми валиками по сложному контуру рассмотрен ниже.

Для уменьшения доли основного металла в наплавленном используют такие приемы, как наплавка на спуск, установка большого вылета электрода, наклон электрода углом вперед и уменьшение шага наплавки (увеличение перекрытия валиков). Иногда целесообразно увеличивать число слоев наплавки, так как при этом доля основного металла в наплавленном резко убывает от слоя к слою.

Особенно строго должна быть регламентирована доля основного металла при наплавке высоколегированных сплавов.

Стремление к уменьшению доли основного металла нередко входит в противоречие со стремлением к повышению производительности ремонта, поскольку последнее, как правило, реализуется с увеличением силы сварочного тока.

На рис.7.5 представлены схемы наплавки под флюсом, позволяющие одновременно достигать обе поставленные цели: повышение производительности и уменьшение доли основного металла в наплавленном.

При наплавке электродной лентой (рис.7.5, а) достигается малая глубина проплавления основного металла и появляется возможность наплавить за один проход валик шириной до 100 мм за



счет того, что дуга, перемещаясь по торцу ленточного электрода, образует общую ванну расплавленного металла. Например, сравнивая данные для двух видов электрода при одинаковой производительности наплавки (6 кг/ч), при наплавке одиночной дугой проволоочным электродом доля основного металла составляет 65%, а при наплавке лентой – всего 20%.

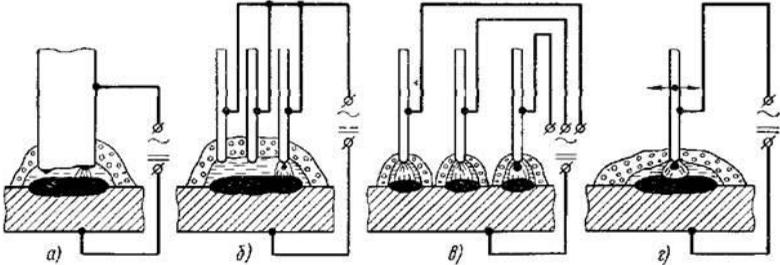


Рис.7.5. Наплавка ленточным электродом (а); многодуговая (б); многоэлектродная (в) и наплавка с поперечными колебаниями электрода (г)

При *многоэлектродной наплавке* (рис.7.5, в) в зону дуги одновременно подают несколько электродов, подключенных к одному полюсу источника сварочного тока. В отличие от многоэлектродной сварки, электроды располагают не вдоль шва, а в линию перпендикулярно движению наплавочного аппарата. Дуга периодически свещается с одного электрода на другой, при этом образуется общая сварочная ванна с небольшой глубиной проплавления основного металла и формируется широкий валик.

Повышение производительности при наплавке лентой и несколькими электродами достигается за счет применения большей силы тока без опасного увеличения глубины проплавления и за счет формирования широких валиков [28].

При *многодуговой наплавке* (рис.7.5, в) применяется одновременно несколько наплавочных аппаратов или один аппарат с несколькими изолированными друг от друга электродами, причем каждый электрод питается от отдельного источника тока. Каждая дуга формирует свой валик, общая ванна не образуется. В этом случае производительность наплавки повышается за счет применения нескольких сварочных дуг сравнительно небольшой мощности и обслуживания процесса одним оператором. Уменьшение доли основного металла при этом способе не достигается – его следует рекомендовать в тех случаях, когда при ремонте основной металл и наплавляемый существенно не отличаются по химическому составу.



Машины и автоматизация сварочного производства

При наплавке с поперечными колебаниями электрода (рис.7.5, г) увеличивается ширина валика, вследствие чего уменьшается доля основного металла.

Повышения производительности ремонта можно достичь за счет сокращения времени на удаление шлаковой корки при применении челночной наплавки.

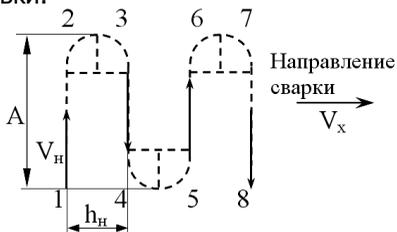


Рис.7.6. Траектория движения источника нагрева при челночной наплавке:

V_n – линейная скорость наплавки; A – размах колебаний; h_n – шаг наплавки

При челночной схеме наплавка осуществляется за один проход сварочной головки, перемещающейся поочередно в прямом и обратном направлении (рис.7.6). При этом для исключения образования шлаковых включений и прерывания горения дуги при обратном движении сварочной головки необходимо режим наплавки и состав флюса подбирать так, чтобы шлаковая корка на рядом лежащих валиках оставалась в вязком состоянии вплоть до завершения движения головки в обратном направлении. Например, при перемещении электрода из точки 1 в точку 4 температура в точке 1 не должна снизиться ниже значения T_k , то же условие должно быть выполнено для точек 3, 5 и 8.

$$T_k \approx T_{пл. флюса}$$

Это основное условие для осуществления челночной наплавки. При нарушении этого условия затвердевшая шлаковая корка будет иметь низкую электропроводность, что может привести к нарушению дугового процесса. Экспериментально установлено, что именно это условие ограничивает область применения челночной наплавки по ширине наплавляемого слоя A .

Максимально допустимая амплитуда колебаний источника нагрева (сварочной головки) зависит от энергетических параметров процесса, свойств флюса и теплофизических свойств материала наплавляемой детали.

Челночную наплавку рекомендуется применять для ремонта сталей, склонных к образованию холодных трещин. После заверше-



ния наплавки шлак удаляют со всей наплавляемой поверхности, поэтому скорость охлаждения уменьшается, что снижает вероятность образования закалочных структур при ремонте деталей из среднеуглеродистых сталей.

Пример автоматизации ремонта с применением челночной наплавки

Рассмотрим пример использования челночной автоматической наплавки под флюсом по копиру для восстановления наклонных поверхностей фрикционных клиньев тележек грузовых вагонов. Размер наплавляемой поверхности составляет 110x110 мм.

Режим наплавки: электродная проволока Св-08, диаметр – 3,0 мм, сварочный ток – $I_{CB}=260-320$ А, напряжение дуги – $U_d=33-35$ В, вылет электрода – 35 мм, линейная скорость наплавки – $V_n=20$ м/ч, размах колебаний – 110 мм. Наплавку выполняли под высококремнистым высокомарганцовистым пемзовидным флюсом АН-60. Этот флюс обеспечивает хорошее формирование шва и плавный переход от металла шва к основному металлу.

Для данного режима наплавки ширина валика – 18 мм, шаг наплавки – 12 мм. В зависимости от износа детали наплавку обычно выполняют в один или два слоя. Время наплавки одного слоя 3,2 мин.

Автоматическая челночная наплавка под флюсом осуществляется по копиру. Копировальная система обеспечивает непрерывность наплавки слоя металла на поверхность детали и выведение наплавочной головки в исходное положение для нанесения второго слоя.

Челночная наплавка под флюсом имеет следующие преимущества:

- возможность наплавки поверхности практически любой формы;
- непрерывность наплавки слоя;
- резкое сокращение вспомогательного времени в связи с отсутствием необходимости установки автомата на наплавку каждого валика;
- высокая производительность процесса, благодаря сокращению времени на удаление шлаковой корки с наплавленной поверхности;

Машины и автоматизация сварочного производства

- постоянство толщины наносимого слоя, обеспечиваемое постоянством линейной скорости перемещения наплавочной головки по копиру ($V_H = \text{const}$);
- отсутствие дефектов в начале и конце валиков;
- уменьшение припусков на последующую механическую обработку наплавленного слоя.

Челночная наплавка является радикальным средством автоматизации наплавки деталей небольших размеров (шириной до 150 мм).

Пример автоматизации наплавки раздвинутыми валиками

Для автоматизации наплавки раздвинутыми валиками сложных поверхностей используют установки, имеющие следящие системы или копирующие устройства. Первые могут быть использованы для широкой номенклатуры изделий, но стоимость их высока. Вторые дешевле, но менее универсальны.

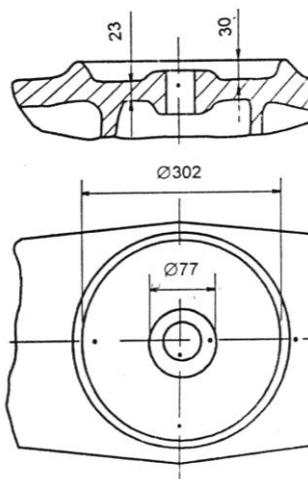


Рис.7.7. Наплавляемая кольцевая поверхность надрессорной балки

В качестве примера рассмотрим механизированную наплавку пятниковых мест надрессорных балок грузовых вагонов.

Надрессорная балка – массивная литая деталь (масса около 400 кг) из стали 25Л. Опорная плоскость, которая подвержена износу при эксплуатации и требует ремонта с применением наплавки, имеет форму кольца с максимальным диаметром 302 мм, минимальным – 77 мм. Требуемая площадь

наплавки составляет порядка 680 см^2 . Требуемая толщина наплавленного слоя в зависимости от износа составляет 5-7 мм (рис.7.7).

Для повышения производительности ремонта было принято решение использовать схему наплавки с «раздвинутыми» валиками,

так как при такой технологии удастся сократить время на очистку поверхности наплавки от шлака за счет увеличения протяженности валика, наплавляемого непрерывно.

Сложность наплавки кольцевой поверхности заключается в получении наплавленного слоя одинаковой толщины при переменном радиусе траектории движения электрода и в обеспечении эквидистантного расположения раздвинутых валиков. Для преодоления этих проблем было принято решение использовать копирувальную систему.

Основное преимущество копирувальных систем – постоянство линейной скорости движения электрода по всей наплавляемой поверхности и возможность наплавки поверхности любой формы.

В рассматриваемом примере копир 1 имеет вид спирали Архимеда (рис.7.8).

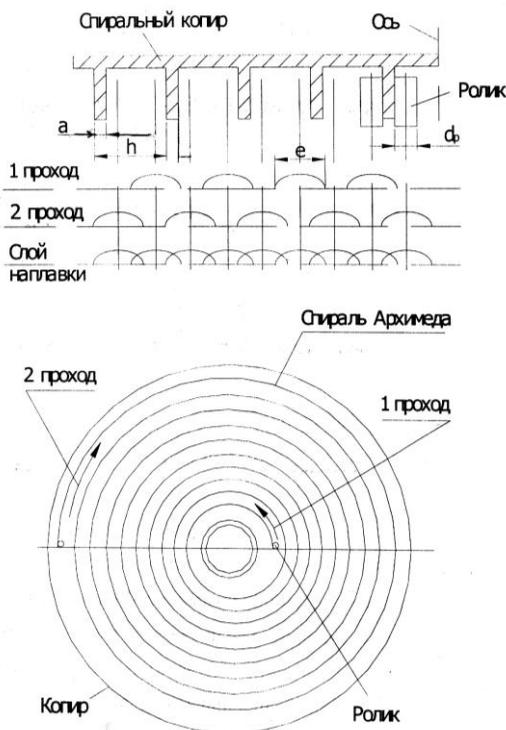


Рис.7.8. Конструкция копира

Автомат для наплавки содержит шарнирную систему «руки»

4. Оси копирующего ролика 2, магнитной головки 3 и электрода в



подающем механизме располагаются вдоль одной линии. Электродная проволока поступает из кассеты 8 (рис.7.9). Надрессорная балка 6 подается под наплавку на тележке, перемещаемой по рельсовому пути. Центр копира совмещается с центром отверстия в подпятнике, и надрессорная балка закрепляется в этом положении для наплавки.

Наплавочная головка перемещается по копиру со спиральной направляющей от начала до окончания наплавки валика первого прохода. Благодаря тому, что канавки копира выполняют с шагом h_k (где $h_k = 2(a + d_p)$; a – толщина спиральной направляющей; d_p – диаметр ролика), на наплавляемой поверхности образуется два раздвинутых валика.

После очистки поверхности детали от шлака копирующий ролик переводят через зазор между витками спирали к другой поверхности стенки следующего витка спиральной направляющей копира. Без изменения направления вращения ролика сварочная головка перемещается в обратном направлении к исходной позиции, выполняя при этом наплавку валика второго прохода между раздвинутыми валиками первого прохода.

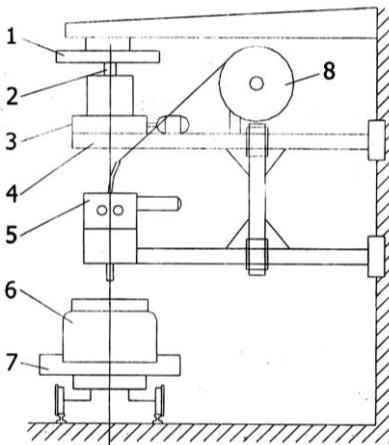


Рис.7.9. Автомат для наплавки

Независимо от формы наплавляемой поверхности каждый слой наплавки формируют из двух валиков, наплавляемых поочередно в два прохода. Эквидистантное расположение валиков в слое на наплавляемой поверхности достигается движением копирующего ролика по выпуклой и затем по вогнутой части стенки копира. Внутрен-



нюю поверхность стенки копира считают вогнутой, а наружную – выпуклой [29].

Способ наплавки в два прохода по спиральному копиру может применяться для наплавки различных по форме поверхностей, например, круговых, кольцевых, квадратных, прямоугольных и др.

При наплавке под флюсом раздвинутыми валиками не возникает необходимость поддерживать шлаковую корку на наплавленном валике в расплавленном состоянии, поэтому в данном случае нет ограничений на размеры ремонтируемой поверхности.

Количество тепла, вводимого в изделие при двухпроходной наплавке, распределяется более равномерно, чем при челночной наплавке, что приводит к снижению сварочных напряжений и деформаций.

Перспективные методы ремонта поврежденных поверхностей

В настоящее время для ремонта наплавкой все более широко используются процессы сварки плавящимся электродом в активных, инертных газах, а также смесях газов, благодаря большей маневренности этих процессов и уменьшению затрат на вспомогательные операции (подача и уборка флюса, удаление шлаковой корки).

Процесс сварки в среде активных газов, например в углекислом газе, применяют для ремонта наплавкой деталей из углеродистых, низколегированных конструкционных сталей. При ремонте с применением наплавки деталей из теплоустойчивых перлитных и высоколегированных коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов отдают предпочтение процессу сварки в инертных газах или смесях активных и инертных газов.

Для наплавки металла со специальными свойствами применяют порошковые проволоки. Порошковая проволока представляет собой непрерывный электрод трубчатой конструкции с порошкообразным наполнителем – сердечником.

Сердечник состоит из смеси минералов, руд, ферросплавов, металлических порошков и других материалов. Назначение различных составляющих сердечника подобно назначению электродных покрытий – защита, раскисление и легирование расплавленного металла, связывание азота в стойкие нитриды, стабилизация горения дуги.

Порошковые проволоки используют без дополнительной защиты зоны сварки и наплавки – самозащитные порошковые проволоки, а также для сварки и наплавки в защитных газах и под флюсом.



Рутилорганические, карбонатно-флюоритные и флюоритные порошковые проволоки относятся к самозащитным.

В сердечниках проволок всех типов с целью заполнения пространства, увеличения производительности и придания благоприятных сварочно-технологических свойств вводят железный порошок.

Классификация, сортамент и технические требования на порошковую проволоку для дуговой механизированной наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами регламентированы ГОСТ 26101-84.

По способам наплавки порошковая проволока может быть классифицирована на проволоку, предназначенную для наплавки:

- под флюсом;
- в защитном газе;
- без дополнительной защиты – самозащитную;
- под флюсом, в защитном газе и без дополнительной защиты – универсальную.

Наплавка порошковой проволокой осуществляется на постоянном токе обратной полярности от источника питания с жесткой или пологопадающей характеристикой. Для механизированной сварки и наплавки применяются порошковые проволоки диаметром до 3,2 мм. Большие диаметры применяются при автоматической наплавке.

В паспорте порошковой проволоки указывается производительность наплавки в кг/ч, значение коэффициента набрызгивания $a_{нб}$, % и коэффициента расхода порошковой проволоки $G_{пд}/G_{н}$.

Одним из сравнительно новых способов ремонта поверхности является плазменная наплавка.

Плазменная наплавка может выполняться с подачей присадочного металла в виде проволоки, ленты или порошка в сжатую дугу.

Наиболее важным преимуществом плазменной наплавки является возможность раздельного управления производительностью наплавки и глубиной проплавления основного металла. Например, при однослойной наплавке под флюсом доля основного металла в наплавленном слое может достигать 60%. Плазменная наплавка позволяет получать в первом слое долю основного металла от 6%.

Плазменная струя окружена соосным потоком защитного газа, обеспечивающего защиту наплавляемого металла.

Плазменная наплавка с токоведущей присадочной проволокой обеспечивает минимальное проплавление основного металла. При наплавке аустенитных нержавеющей сталей на углеродистые

глубина проплавления основного металла составляет около 0,5 мм, а высота наплавленного валика 4,5-5,0 мм.

Наплавку тел вращения выполняют отдельными валиками вдоль образующей, кольцевыми валиками или непрерывно по спирали. Наплавка отдельными валиками вдоль образующей требует прерывания процесса и вызывает значительную деформацию детали вследствие несимметричного нагрева. Для предупреждения сварочных деформаций изгиба необходимо выбрать такую последовательность наплавки валиков, чтобы сварка каждого последующего валика вызывала деформации, противоположные по знаку предыдущему, т.е. последующий валик необходимо располагать на диаметрально противоположной стороне детали. При механизированных способах наплавки тела вращения лучше всего наплавлять по винтовой линии или кольцевыми валиками (рис.7.10).

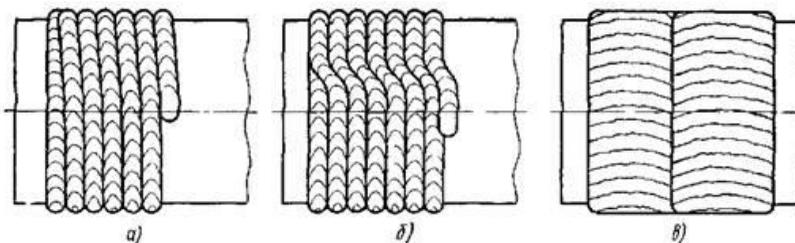


Рис.7.10. Наплавка тел вращения: а – по винтовой линии; б – кольцевыми валиками с прерывистым смещением на шаг; в – широкими кольцевыми валиками

Возможны конструкции наплавочных установок, особенно для деталей большого диаметра, которые обеспечивают наплавку кольцевыми валиками с прерывистым смещением сварочной головки (рис.7.10, б).

Подача на шаг осуществляется сравнительно простым электромеханическим датчиком, который при каждом обороте изделия дает импульс тока на двигатель тележки, перемещающей наплавочный аппарат вдоль оси изделия.

Весьма эффективно применение широкослойной наплавки по схеме рис.7.10, в. При величинах диаметра деталей 100-400 мм целесообразно использовать поперечные колебания электрода, а при больших – наплавку электродной лентой.

Трудности наплавки тел вращения обусловлены главным образом опасностью стекания сварочной ванны, которая тем больше, чем меньше диаметр изделия и чем длиннее сварочная ванна. Для



того чтобы избежать стекания металла, электрод смещают относительно оси изделия против направления вращения детали и выбирают такой режим наплавки, при котором длина сварочной ванны не превышает допустимую. Поэтому наплавку рекомендуется выполнять на меньших токах и проволокой меньшего диаметра.

В табл.7.2 приведены рекомендуемые режимы наплавки тел вращения под флюсом, позволяющие предотвратить стекание шлака и расплавленного металла.

Таблица 7.2

Режимы наплавки тел вращения под флюсом

Диаметр, мм		Режим наплавки					
детали	электрода	Ток I_d А	U_d В	Скорость, м/ч		Шаг наплав- S , мм/об	Смещение с зенита Δ , мм
				Подачи электрода V_n	наплавки V_H		
50-60	1,2-1,6	110-120	25-27	75-80	16-24	4	4-5
60-75	1,6-2,0	120-150	26-29	110-115	15-28	4	5-6
75-100	2,0	130-180	26-29	125-130	16-32	4	5-7
100-200	2-3	220-250	27-30	160-170	16-32	4-5	8-10
200-300	2-3	250-280	27-30	180-190	16-36	5-6	10-15

По сравнению с обычной наплавкой одним проволочным электродом широкослойная наплавка (многоэлектродная, лентой, с поперечным колебанием электрода) при прочих равных параметрах режима обеспечивает более короткую сварочную ванну. Поэтому широкослойная наплавка позволяет для данного диаметра детали повысить силу тока, а значит повысить и производительность процесса.

Величина смещения электрода с зенита (при наплавке наружных поверхностей) и от нижней точки (при наплавке внутренних поверхностей) составляет 10-50 мм; ее выбирают так, чтобы не происходило ссыпания флюса и затекания шлака вперед (по направлению вращения детали), а также стекания металла назад. Окружная скорость составляет 10-60 м/ч (наплавка одним электродом). Чем меньше диаметр детали, тем меньше должна быть скорость наплавки. Шаг наплавки (расстояние между осями двух соседних валиков) назначают в зависимости от толщины слоя, а также силы тока, напряжения и размеров электрода. При наплавке одним проволочным электродом шаг наплавки составляет 3-12 мм. Излишне малый шаг может привести к образованию несплавления в зоне перекрытия валиков, излишне большой – к увеличению доли основного металла в наплавке.



При ремонте поверхности тел вращения, например валов, применяют вибродуговую наплавку. Наплавка производится вибрирующим электродом, который периодической частотой колебания замыкает электрическую цепь, в результате чего на поверхность наплавляемой детали переносится расплавленный электродный металл. Вибродуговую наплавку выполняют с применением охлаждающей жидкости, флюса или защитного газа. Охлаждающая жидкость выполняет также и защитные функции.

Использование жидкости способствует снижению нагрева детали, в результате чего уменьшаются сварочные деформации. Кроме того, охлаждающая жидкость способствует получению закалочных структур, высокую твердость (до 62 HRC) и износостойкость наплавленного слоя.

Одним из преимуществ вибродуговой наплавки является возможность наплавлять детали диаметром до 15 мм.

Недостатки вибродуговой наплавки состоят в следующем:

- неоднородность структуры наплавленного слоя;
- большая вероятность появления в наплавленном слое пор и трещин;
- низкая усталостная прочность деталей после вибродуговой наплавки.

Вследствие этих недостатков область применения вибродуговой наплавки постоянно сокращается.

7.4. Наплавочные материалы, применяемые при ремонте

Многообразие типов и свойств наплавочного материала определяется многообразием условий работы наплавляемых деталей и предъявляемых к ним требований. В связи с этим при выборе марки наплавочного материала для целей ремонта необходимо, в первую очередь, руководствоваться рекомендациями нормативных документов, где сосредоточен многолетний опыт разработки технологии ремонта конструкций в зависимости от условий их эксплуатации.

В качестве ориентира для выбора марки наплавочного материала можно использовать рекомендации Международного института сварки (МИС).

В табл.7.3 приведена классификация наплавочных материалов по химическому составу, принятая Международным институтом сварки.



Машины и автоматизация сварочного производства

Для наплавочных работ часто используются сварочные электроды общего назначения и электроды для сварки коррозионностойких и жаростойких сталей и сплавов. Типы наплавочных электродов определены ГОСТ 10051-62.

В работе [30] приведена классификация наплавленного металла в зависимости от условий службы изделий.

Приняты следующие характерные группы:

- детали, работающие в условиях трения металла о металл (1-я группа);
- детали и инструмент, работающие в условиях абразивного изнашивания при нормальных температурах (2-я группа);
- детали, эксплуатирующиеся в условиях абразивного изнашивания с ударными нагрузками (3-я группа);
- детали и инструмент, работающие на термическую усталость и абразивное изнашивание при повышенных температурах (4-я группа);
- детали, работающие в условиях коррозии и эрозии, сочетающихся с изнашиванием при повышенных температурах (5-я группа);
- детали подшипников скольжения, подпятников и других узлов трения (6-я группа);
- режущий инструмент (7-я группа).



Машины и автоматизация сварочного производства

Таблица 7.3

Классификация наплавочных материалов по химическому составу, принятая Международным институтом сварки

Тип сплава	Условное обозначение	Содержание элементов, %										Примерная твердость в рабочем состоянии, НРС
		C	Mn	Cr	N	W	V	Mo	Co	Прочие		
Нелегированные или низколегированные стали, C<0,4%	A	≤ 0,4	0,5–3	0–3	0–3	–	–	0–1	–	–	–	40
Нелегированные или низколегированные стали, C>0,4%	B	> 0,4	0,5–3	0–5	0–3	–	–	0–1	–	–	–	60
Аустенитные высокомарганцевые стали	C	0,5–1,2	11–16	0–1	0–3	–	–	0–1	–	–	–	50
Аустенитные хромоникелевые стали	D	≤ 0,3	1–8	13–30	5–25	–	–	–	–	Ti 0–1	Nb 0–1,5	40
Хромистые стали	E	0,2–2,0	0,3–1,5	5–30	0–5	0–1,5	0–0,5	0–1	–	–	–	45
Быстрорежущие стали	F	0,6–1,5	≤ 0,5	4–6	–	1,5–18	0–3	0–10	0–15	–	–	62
Высокохромистые специальные чугуны	G	1,5–5	0–6	25–35	0–4	0–5	0–1	0–3	0–5	Ti 0–1,5	B 0–1,5	60
Хромовольфрамовые теплостойкие стали	H	0,2–0,5	≤ 1,0	1–5	0–5	1–10	0,15–1,5	0–4	–	–	–	45
Кобальтовые сплавы с хромом и вольфрамом	N	0,7–3,0	≤ 0,4	25–33	0–3	3–25	–	0–3	30–70	Fe ≤ 6	–	40
Никелевые сплавы с хромом и бором	Q _a	≤ 1,0	–	8–18	65–85	–	–	–	1–1,5	2–5	B 2–5	55
Никелевые сплавы с молибденом	Q _b	≤ 0,12	–	0–18	60–80	0–20	0,2–0,6	8–35	0–2,5	4–7	–	200*
Карбидные сплавы зернистые спеченные	P	≥ 3	≥ 2,0	–	–	≥ 45	–	–	–	–	–	≥ 67



Машины и автоматизация сварочного производства

В каждой из указанных групп, в свою очередь, содержится в среднем от 6 до 14 марок наплавленного металла. Таким образом, общее количество марок наплавленного металла составляет около 60 единиц.

Например, для наплавки деталей 1-й группы применяют низкоуглеродистые и низколегированные стали, содержащие не более 5% суммарного количества легирующих элементов. Наплавка этой группы деталей производится в основном для восстановления первоначальных размеров без значительного повышения износостойкости, так как это может вызвать повышенный износ другой детали. Для наплавки в этом случае используют низкоуглеродистые стали, например, 08Г, 08ГС, 15Г2С, 15Г2Х, 15ХГ2С, 15ГЗ, 16ГЗС, 25ХЗ. Для 1-й группы сталей, содержащих менее 0,4% С применяют электроды марок 03Н-250, 03Н-350, 03Н-400, К-2-55, 03Ш1 (HRC соответственно 25, 35, 40 и 34 в 4-м слое наплавки). Для сталей, содержащих более 0,4% С применяют электроды ЭН-40, ЭН-50, ЭН-60, ЭН-60М (HRC соответственно 40, 50, 60 в 4-м слое).

К первой группе относятся стали 15ХГ2С, 15ГЗ, 16ГЗС, 25ХЗ.

Ко второй группе относятся сплавы, имеющие в своем составе большое количество карбидов, высокое содержание углерода, легирование хромом, марганцем. При одинаковой твердости износостойкость повышается с повышением содержания углерода и хрома (35% хрома, до 3,3% углерода). Это сормайт №1, легированные чугуны, борид хрома У30Х28НЧсА, У35Х7Г7 – сталинит, У37, ХЗГ6 (ВИСХОМ-9).

Для деталей 2-й группы сплавов применяют марки электродов Т-590, Т-620, БХ-2 (HRC 58-63).

3-я группа – ножи бульдозеров, зубья смесителей, щековые дробилки, стрелочные переводы. Ледебуритные стали типа Х12 (углерода 1,5-2,2%), Х12ВФ, Х12М, Х12Т, Х13Н4 характеризуются малой деформированностью, хорошей прокаливаемостью при закалке. За счет термообработки HRC 30-55. К этой группе относится сталь Г13.

Для деталей 3-й группы применяют электроды марок ОМГ, ОМГ-Н, ВСН-6.

4-я группа – инструмент для горячей штамповки 3Х2В8, 3Х2В4Ф, Х20Н10Г7Т, 4Х5М. Для деталей этой группы применяют электроды марок 03Ш-2, 03Ш-4, 03И-4.

5-я группа – 1Х13, 1Х17МТ, высокохромистые и хромоникелевые стали 0Х18Н9, 1Х18Н9Т. Применяются для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры. Марки электродов 48-Ж-1, ЦН12М, ЦН2, ЦН3, ЦН6, ЦН8.



Машины и автоматизация сварочного производства

6-я группа – бронзы. Применяются как антифрикционный материал. Электроды марок МН-5, ЛКЗ-АБ.

7-я группа – режущий инструмент – стали Р18, Р9, Р13К3, РВ6М5. Для наплавки применяют электроды типа ЭНР-62 марок ЦИ-1М, ЦИ-1У, ЦИ-1Л, Т-216, Т-293.

7.5. Ремонт методом дополнительных деталей

Ремонт поврежденных поверхностей наплавкой относится к числу распространенных и универсальных способов восстановления работоспособности деталей и конструкций. Вместе с тем следует обратить внимание на высокую стоимость этого вида ремонта, особенно при необходимости наплавки большого объема металла. Это объясняется, в первую очередь, высокой стоимостью наплавленного металла по сравнению с листовым или профильным прокатом. Стоимость наплавленного металла в 40 раз выше проката. Стоимость ремонта деталей ручной дуговой наплавкой может достигать 70-80% стоимости новой детали.

Одним из способов решения проблемы повышения экономической эффективности является ремонт с применением дополнительных ремонтных деталей (ДРД) [31].

Применительно к деталям, имеющим поврежденную поверхность в результате износа, сущность метода состоит в том, что изношенную поверхность детали предварительно обрабатывают и далее вместо наплавки прикрепляют специально изготовленный новый элемент, по форме соответствующий изношенной части детали (дополнительную деталь), с необходимыми служебными свойствами.

Такой способ восстановления (ремонта) имеет следующие преимущества:

- высокую производительность и сравнительно низкую стоимость ремонта;
- возможность унификации конструкции дополнительных деталей, а также унификации их подготовки к восстановлению;
- возможность изготовления дополнительных деталей поточными высокопроизводительными методами;



Машины и автоматизация сварочного производства

- возможность предварительного придания дополнительным деталям определенных служебных свойств: твердости, износостойкости;

- возможность восстановления поверхности деталей по эпюрам износа и деформаций;

- возможность применения дополнительных деталей из пористых или композиционных материалов;

- отсутствие или резкое уменьшение деформаций восстанавливаемых деталей;

- снижение в трибоузлах собственных напряжений;

- технологичность;

- экономичность.

Дополнительные ремонтные детали (ДРД) – это заготовки, которые устанавливаются и закрепляются на изношенной поверхности или заменяют разрушенную часть детали.

С помощью ДРД восстанавливают корпусные детали, различные плоскости и поверхности, внутренние отверстия с помощью пробок, гильз и втулок, а также валы. ДРД применяют для замены части сварной конструкции.

Практическое применение технологии ремонта методом дополнительных деталей требует решения нескольких инженерных задач:

- выбор физико-механических и трибологических характеристик материала дополнительной детали;

- обоснование размеров и конструктивной формы дополнительных деталей с позиции обеспечения совместной работы;

- выбор способа прикрепления дополнительной детали к основной;

- обеспечение защиты места соединения основной и дополнительной деталей от коррозии.

Ниже приведен перечень возможных ДРД.

По конструкции дополнительные ремонтные детали могут иметь различную форму:

- плоские и фигурные накладки;

- втулки, гильзы;

- валы (валики);

- пробки;

- вставки, в том числе резьбовые спиральные;

- ввертыши;



Машины и автоматизация сварочного производства

- компенсационные шайбы;
- свертные кольца;
- венцы шестерен и звездочек.

В зависимости от условий работы ДРД могут быть запрессованы в ремонтируемую деталь (гильзы, втулки, пробки) либо крепиться к ней разными способами:

- механически;
- бандажированием;
- с помощью клея (клееные и клеесварные соединения);
- с помощью диффузионной сварки в вакууме;
- пайкой;
- с помощью электронно-лучевой сварки;
- дуговой сваркой, в частности, электрозаклепками.

Возможны комбинированные соединения, например, крепление накладок обваркой по контуру и дополнительно – электрозаклепками.

Существуют детали, на которых установка целых втулок невозможна (шейки коленчатого вала). В этом случае дополнительная деталь – ремонтная втулка – изготавливается из двух половинок (полувтулок), которые свариваются между собой продольными швами и привариваются к коленчатому валу кольцевыми швами.

Одним из достоинств ремонта методом ДРД является возможность использования соединений из разнородных материалов.

Примеры конструкций дополнительных ремонтных деталей показаны на рис.7.11, где *а* – плоская накладка; *б* – дополнительная ремонтная деталь (ДРД) в виде вкладыша; *в* – ДРД в виде втулки.

В позициях *а* и *в* ДРД могут быть запрессованы. В позициях *б*, целесообразно применение электронно-лучевой сварки.

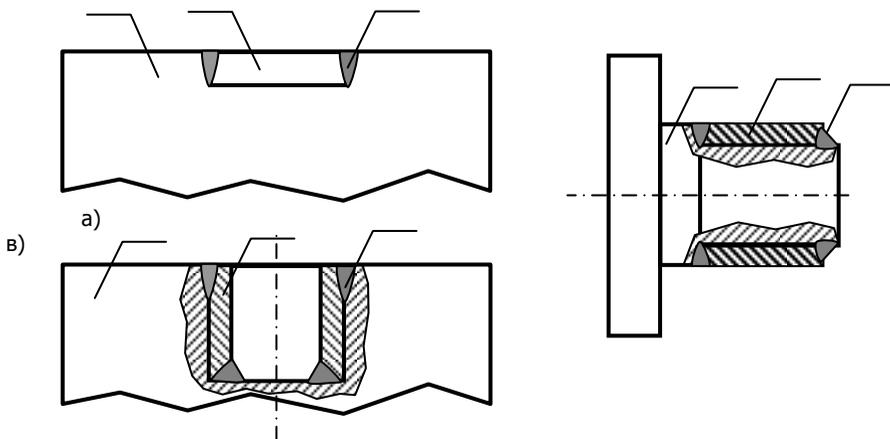


Рис.7.11. Примеры ремонта методом дополнительных деталей:
1 – основная деталь; 2 – дополнительная ремонтная деталь; 3 – сварной шов

При применении метода дополнительных ремонтных деталей для восстановления изношенных поверхностей необходимо, чтобы толщина ДРД превышала предельно допустимый износ.

Метод ремонта дополнительными деталями применяют для восстановления трущихся деталей. Обычно в этих случаях материал детали подбирают так, чтобы новая поверхность хорошо противостояла износу. Такие материалы, как правило, имеют высокое значение эквивалентного углерода и относятся к ограниченно свариваемым. Для обеспечения высокого сопротивления образованию холодных трещин при сварке дополнительной детали и основной в данном случае можно рекомендовать конструктивное решение соединения, показанное на рис.7.12.

Для восстановления изношенной поверхности опорного катка 2 изготавливают втулку 1 из материала, хорошо сопротивляющегося истиранию, и собирают детали с натягом. Для предотвращения появления холодных трещин при сварке на обеих деталях выполняют бурт, позволяющий уменьшить сопротивление поперечной усадке шва 3 и, следовательно, снизить вероятность образования холодных трещин. Помимо этого, такая конструкция соединения позволяет более эффективно использовать сопутствующий нагрев при сварке.

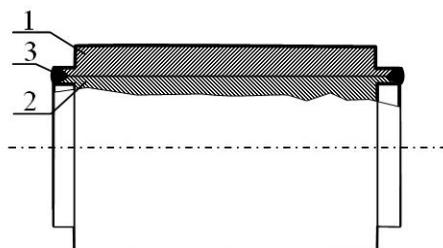


Рис.7.12. Конструкция соединения, обеспечивающая меньшую вероятность образования холодных трещин при ремонте методом ДРД:

1 - дополнительная деталь; 2 – ремонтируемая деталь; 3 – сварной шов

При большом количестве однотипных деталей, ремонт которых предполагается выполнять с использованием ДРД, целесообразно унифицировать размерный ряд ДРД и припуск на предварительную механическую обработку ремонтируемых конструкций должен быть унифицирован. Можно предусмотреть несколько величин припусков и соответственно несколько размеров дополнительных деталей аналогично ремонту с помощью ремонтных размеров.

Важным достоинством данного метода является то, что после прикрепления дополнительной детали механическая обработка поверхности не производится, тогда как после наплавки всегда нужна механическая обработка.

Высокая производительность восстановления методом дополнительных деталей может быть проиллюстрирована на примере ремонта фрикционного клина грузового вагона. Для восстановления изношенной вертикальной поверхности стального клина требовалось нанести 1,8 кг наплавленного металла, что в случае ручной наплавки занимает более часа. При использовании метода ДРД (присоединение к изношенной поверхности клина дополнительной детали в виде пластины толщиной 10 мм и обварка ее по периметру внешнего контура) требуется порядка 10-12 мин. Отсутствие необходимости переплавлять большую массу металла дает значительную экономию электроэнергии и времени, а также сводит к минимуму сварочные деформации.



Примеры применения метода ДРД для восстановления изношенной поверхности пар трения

Примером ремонта методом дополнительных деталей является восстановление ребер букс грузовых вагонов. Корпус буксы изготавливается из сталей 15Л или 25Л. Проблема состоит в том, что при обычной дуговой наплавке вследствие значительного тепловложения возникают сварочные деформации, которые искажают правильную цилиндрическую форму посадочного отверстия в корпусе, что не позволяет собрать подшипниковый узел буксы грузового вагона после ремонта наплавкой. Деформированная букса ремонту не подлежит.

Использование метода ремонта с использованием ДРД позволяет решить эту проблему.

На ребра букс вместо наплавки металла прикрепляют предварительно изготовленные планки, ширина и длина которых соответствуют размерам поверхности ребер толщиной 4,0 мм, т.е. требуемой толщине наплавки для компенсации износа. Перед приваркой планок осуществляется фрезерование ребер букс на размер между параллельными плоскостями 320 мм.

Закрепление планок на ребрах букс производится путем автоматической сварки электрозаклепками под флюсом через отверстия в планках диаметром 9,0 мм.

Проводилась опытная приварка планок толщиной 4,0 мм через отверстия в них диаметром 9,0 мм к ребрам букс. Для обеспечения требуемого качества сварки использовали систему бесконтактно-го зажигания дуги, а также дозирование времени ее горения.

Благодаря дозированию времени горения дуги головки электрозаклепки не выступают над поверхностью планок, что позволяет исключить дополнительную механическую обработку поверхности после приварки планок.

Бесконтактное зажигание дуги, благодаря обеспечению высокой вероятности ее зажигания с первого касания электрода, позволяет достаточно точно дозировать время горения дуги t_r и обеспечивать высокое и стабильное качество электрозаклепок.

Внешний вид буксы с приваренными планками показан на рис.7.13.



Рис.7.13. Букса грузовых вагонов после ремонта изношенных поверхностей методом ДРД

Себестоимость ремонта одной буксы с использованием ДРД по сравнению с ручной дуговой наплавкой поверхности ребер уменьшилась в 5 раз.

Технология ремонта методом ДРД в сочетании со сваркой электрозаклепками позволяет применять планки, изготовленные из износостойких легированных сталей, не опасаясь возникновения трещин, так как соединение формируется из малоуглеродистой стали и привариваемая планка из легированной стали практически не оплавляется.

С помощью сварки электрозаклепками можно присоединять ремонтные детали из материалов, сварка которых в обычных условиях затруднена: чугун и сталь, сталь и алюминий, а также приваривать пластины из легированной износостойкой стали к малоуглеродистой стали корпуса буксы.

Ремонт методом дополнительных деталей может быть применен для восстановления скользунов, наклонных поверхностей над-рессорных балок и других деталей грузовых железнодорожных вагонов. Герметизация нахлесточного соединения планки с ребром буксы может осуществляться путем заполнения зазора мовилем или литолем. Для герметизации могут быть применены антикоррозионные цинконаполненные грунты, а также силиконовая смазка.

При ремонте методом ДРД необходимо учитывать прочностной аспект этой проблемы, т.е. рассматривать совместную работу основной и дополнительной деталей.

В том случае, когда дополнительная деталь представляет собой прямоугольную пластину, приваренную к основной детали по



Машины и автоматизация сварочного производства

контуру, для обеспечения достаточной жесткости желательно, чтобы ее толщина соответствовала уравнению

$$\delta \geq \sqrt[3]{\frac{12(1-\nu^2)C\sigma_{0,2}}{E} B^4},$$

где δ и B – толщина и ширина пластины; E , ν , $\sigma_{0,2}$ – модуль упругости, коэффициент Пуассона и предел текучести материала; C – коэффициент, зависящий от отношения длины и ширины детали.

Для стальных дополнительных деталей с соотношением сторон более двух, толщина пластины может быть подсчитана как

$$\delta \geq 3 \cdot 10^{-2} \sqrt[3]{B^4}.$$

Лучшие условия для обеспечения совместной работы основной и дополнительной деталей могут быть достигнуты при использовании методов соединения по всей прилегающей поверхности – диффузионная сварка, пайка, клеевое или клеесварное соединение.

Ремонт методом дополнительных деталей помимо указанных выше преимуществ дает возможность восстанавливать детали по эпурам износа и деформаций. Для этого могут быть использованы в качестве дополнительных деталей вставки из металла различного состава, детали из сплавов переменного состава, а также детали с различной удельной площадью, занимаемой антифрикционными вставками.

8. РЕМОНТ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ МОРСКИХ БУРОВЫХ И НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ

До недавнего времени основные разведанные запасы нефти располагались на континентальной части земной поверхности. По мере развития технологии добычи нефти, области бурения скважин начали смещаться на морской шельф.

На шельфах морей и океанов выявлено около 2 тыс. месторождений нефти и газа с суммарными запасами нефти 40 млрд т и газа 20 трлн м³; пробурено более 300 тыс. скважин. Почти 100 стран ведут поисковые и эксплуатационные работы в акваториях при глубине воды до 1,5 км. Темпы освоения морских месторождений нефти и газа ежегодно увеличиваются.

Морские буровые и нефтедобывающие платформы представляют собой внушительные по размеру металлические сооружения, опирающиеся на решетчатые конструкции (рис.8.1).



Рис. 8.1. Морские буровые платформы

В процессе эксплуатации они воспринимают различного вида нагрузки – статические и переменные во времени. В наиболее нагруженных участках в металле накапливаются повреждения и могут возникать трещины. Ситуацию усугубляют коррозионные процессы, которые в морской воде протекают более интенсивно.



Машины и автоматизация сварочного производства

Вследствие действия морских волн, достигающих 12 м и более, наиболее уязвимым местом буровых платформ являются опорные колонны в узлах соединения с раскосной решеткой.

Аварии на морских буровых платформах могут сопровождаться большими человеческими жертвами вследствие ограниченности территории платформы и трудностей эвакуации людей.

Основания платформ периодически подвергаются осмотру и, в случае обнаружения повреждений, возникает необходимость ремонта.

Перечень технологических операций, которые необходимо выполнить при ремонте подводной части морских платформ, значительно отличается от перечня операций при выполнении ремонта наземных сооружений, но условия для их выполнения, технология и сложность выполнения операций отличаются существенно, так как эти операции необходимо выполнять под водой.

Ремонт предполагает:

- диагностику поврежденного узла с целью выявления места, степени и вида повреждений;
- очистку поврежденного участка от продуктов коррозии и морских организмов;
- вырезку и обработку кромок;
- подготовку кромок (например, подогрев), сборку и сварку ремонтируемых деталей и узлов;
- дополнительные операции (зачистка шва, термическая обработка, покраска и др.).

Из перечисленных операций рассмотрим три операции, выполнение которых под водой имеет специфические особенности.

8.1. Технология очистки поврежденного участка перед сваркой

В отличие от наземных конструкций конструкции под водой, помимо следов коррозии, покрыты продуктами жизнедеятельности подводных растений и живых организмов. Всякие предметы, находящиеся в море – камни и скалы, сваи и пристани, днища кораблей, со временем обрастают густым покровом растений и животных.

Не являются исключением подводные части опор буровых платформ. Их поверхность в период эксплуатации покрывается толстым слоем водорослей, ракообразных, моллюсков и других морских обитателей.

Очевидно, что обрастание затрудняет контроль состояния поверхности, выявление повреждений и трещин, препятствует выполнению сборки и сварки при ремонте.

Наиболее эффективным методом очистки поверхности подводной части платформы является пескоструйная обработка. Рис.8.2 иллюстрирует выполнение водолазом очистки опоры платформы с помощью пескоструйной обработки.

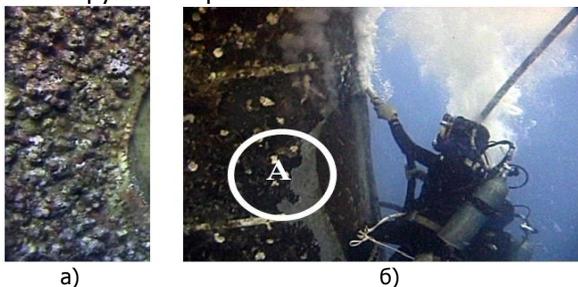


Рис.8.2. Очистка подводной части опоры морской платформы от обрастания (А – фрагмент поверхности опоры до очистки)

При выполнении местной зачистки основного металла и сварных соединений, например, при разделке берегов трещин, зачистки свариваемых кромок или поверхности металла шва используют пневматические шлифовальные машинки с набором металлических щеток и армированных абразивных кругов толщиной 3-6 мм.



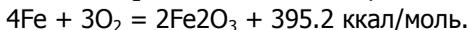
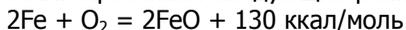
8.2. Резка под водой

Резка является одним из наиболее часто выполняемых видов работ под водой. Для резки используются различные методы, как механические (с помощью цепных или дисковых пил, абразивных дисков и др.), так и электродуговые (с применением трубчатых электродов, через которые подается режущий кислород).

Традиционно в течение многих лет резка черных металлов выполнялась с применением электродуговой или электрокислородной резки. В последнее время все большее распространение получает экзотермический способ резки материалов. Этот метод основан на горении металла в среде кислорода.

Сущность процесса резки заключается в том, что при нагреве металла выше температуры воспламенения (для железа выше температуры 1100-1300°C), он приобретает способность сгорать в струе кислорода. Процесс окисления железа экзотермичен, т.е. протекает с выделением тепла, тем самым соседние участки железа подогреваются до температуры возгорания.

При резке стали протекают следующие реакции окисления:



Таким образом, количество выделяющегося тепла оказывается достаточным для создания условия для продолжения процесса резки без подвода дополнительной энергии. Режущая струя кислорода постепенно проникает в металл, разрезая его насквозь и одновременно выдувая образовавшиеся шлаки. По существу экзотермическая резка близка к кислородно-ацетиленовой резке, но исходный нагрев металла, вызывающий экзотермическую реакцию, осуществляется за счет горения дуги.

Для экзотермической резки применяются специальные трубчатые электроды, состоящие из внутреннего тепловыделяющего элемента и стержней из низкоуглеродистой стали, которые установлены в металлической трубке, покрытой изолирующим материалом. Конструкция электрода обеспечивает обгорание изоляции одновременно с трубчатым электродом. Тепловыделяющий элемент по составу подобен термитной смеси, включающей в себя материалы с высокой теплотой образования оксидов (алюминий, магний, титан и их сплавы).

Диаметр и толщина стенок трубчатого электрода, количество и материал тепловыделяющих стержней, а также гидроизолирующее покрытие электрода подбираются оптимальными с позиции производительности резки и расхода электрода.



Машины и автоматизация сварочного производства

Электрод зажигается в кислородной струе благодаря воздействию на него электрической дуги, возникающей между ним и разрезаемым объектом.

После образования электрической дуги электрод начинает гореть самостоятельно, при этом температура горения на кончике электрода достигает 5500°C. Горение электрода продолжается до тех пор, пока подается кислород.

Высокая температура на кончике электрода и поток кислорода приводят к расплавлению или сгоранию материала объекта резки. Кроме того, поток кислорода выдувает расплавленный материал вне пределов линии реза. Эффективность экзотермической подводной резки в значительной степени зависит от величины подачи кислорода.

Экзотермическая резка является более производительной по сравнению с традиционной электродуговой.

В настоящее время наибольшее распространение получили электроды для экзотермической резки под водой американской фирмы BROCO.

Электроды диаметром 6 мм предназначены в основном для резки металла толщиной от 6 до 12 мм и позволяют проводить более узкую линию реза. Электродами диаметром 9,5 и длиной 450 мм рекомендуется выполнять работы по резке материала толщиной от 12 мм. При выполнении работ на больших глубинах, а также при необходимости выполнять длинные прямолинейные резы, при невозможности часто производить смену электродов или в ситуациях, не позволяющих водолазу-резчику приблизиться к линии реза, рекомендуется использовать электроды длиной 915 мм.

В табл.8.1 приведены характеристики электродов для экзотермической резки под водой.

Таблица 8.1

Зависимость длины разрезаемого участка от марки электрода

Марка электрода	Толщина разрезаемого материала (мм)			
	8	15	25	35
1418UW_25	500	250	Не используется	Не используется
3818UW_25	Не используется	400	350	300
3836UW_25	Не используется	900	700	500

Резка электродами ЭТС-1 и электродами BROCO может осуществляться без подачи электрического тока, который необходим только для поджига электрода на начальном этапе горения. Резка

электродами ЭТС-2 и ЭТС-3 возможна только при условии подпитки процесса электрическим током.



8.3. Экзотермическая резка под водой

Рис.8.3 иллюстрирует выполнение операции вырезки поврежденного участка опоры буровой платформы на шельфе Южно-Китайского моря.

8.3. Технологии сварки под водой

Ремонт металлических конструкций платформ выполняют с применением сварки. В настоящее время для подводных работ используют в большинстве случаев дуговую сварку плавящимся электродом: ручную дуговую сварку покрытым электродом и механизированную дуговую сварку плавящимся электродом в защитных газах.

Существуют два основных метода выполнения сварочных работ под водой:

- сварка в водной среде (сварка «мокрым» способом);
- сварка в газовой среде в сухой камере (сварка «сухим» способом).



8.3.1. Сварка «мокрым» способом

Возможность дуговой сварки в водной среде впервые исследовал К.К. Хренов в 1932 г. Было показано, что дуга, несмотря на интенсивное охлаждающее действие окружающей воды, нагревается и плавит металл практически столь же эффективно, как и на воздухе. Дуга горит в водной среде вполне устойчиво при питании от источников и постоянного, и переменного тока.

Для обеспечения более высокого качества сварки, как правило, предпочтение отдают сварке на постоянном токе.

Дуга горит в газовом пузыре, образуемом в результате испарения и разложения воды. При сварке под водой напряжение сварочной дуги на 6В-7В больше, чем при сварке на воздухе. Этот избыток напряжения компенсирует охлаждающее действие воды.

Для повышения устойчивости горения дуги под водой используют электроды с толстым покрытием. Слой покрытия должен быть водонепроницаемым, так как вода, проникая в покрытие, испаряется при горении дуги и вызывает его разрушение. Кроме того, разрушению покрытия способствует бурное выделение водорода в результате электролиза воды. Необходимую водонепроницаемость покрытия создают пропиткой его различными лаками.

При горении дуги выступающий конец покрытия образует козырек, способствующий удерживанию газового пузыря вокруг дуги и устойчивому ее горению. Непрерывно образующийся газ поднимается на поверхность воды отдельными пузырьками, преимущественно состоящими из водорода. Пары испаряющегося металла и покрытия, соприкасаясь с водой, конденсируются и образуют в ней коллоидальный раствор.

Взвешенные в воде продукты сгорания металла и обмазки, состоящие в основном из окислов железа, образуют облако взвесей, которое затрудняет наблюдение за дугой.

В результате этого при сварке под водой часто появляются такие дефекты, которые почти не встречаются при сварке на воздухе: пропуски участков шва, смещение с оси шва, нерасплавление одной из кромок.

При сварке под водой покрытыми электродами образуется валик, отличающийся грубой чешуйчатостью. Глубина проплавления



Машины и автоматизация сварочного производства

несколько больше, чем при работе на воздухе. Под водой можно выполнять практически все виды сварных соединений в любом пространственном положении.

Наплавленный металл отличается пониженным содержанием таких легко окисляющихся элементов, как, например, углерод, кремний и марганец, и повышенным содержанием водорода. Зона термического влияния сужена, структура металла шва указывает на ускоренное охлаждение. Металл шва имеет достаточно высокий предел прочности, но низкие показатели пластичности: малый угол загиба, низкие значения относительного удлинения и ударной вязкости, что необходимо учитывать при разработке технологии ремонта.

Сварка возможна в пресной речной и соленой морской воде. В последнем случае необходима тщательная изоляция держателя электрода и других токоведущих участков электрической цепи, так как нарушение изоляции может вызвать значительную утечку тока.

Вследствие высокой электропроводности морской воды все металлические предметы оказываются соединенными между собой и присоединенными к источнику сварочного тока через воду. Поэтому дуга может возникать между электродом и любым металлическим предметом в зоне сварки даже в тех случаях, когда этот предмет не присоединен проводом к источнику тока.

Сварка под водой возможна на различных глубинах, так как с увеличением глубины и давления устойчивость сварочной дуги сохраняется, а глубина проплавления металла возрастает. Однако практическое выполнение сварки на глубинах более 40-50 м наталкивается на неприспособленность человеческого организма. При глубине 100 м работа почти невозможна.

При выполнении сварки «мокрым» способом технологический процесс происходит без каких-либо дополнительных сооружений и устройств. Благодаря этому сварщик имеет большую свободу перемещений, что делает сварку «мокрым» способом наиболее эффективной и самой экономичной из существующих способов сварки под водой, в первую очередь, при восстановлении металлоконструкций с развитой поверхностью на глубине до 20 м.

Существенным недостатком применения сварки «мокрым» способом является значительное насыщение металла шва и околошовной зоны водородом, что вызывает повышенную пористость швов и охрупчивание металла. Кроме того, из-за непосредственного контакта с водой основного металла и металла шва теплоотдача стали



значительно выше, чем при сварке на воздухе, что может привести к появлению закалочных структур в металле шва и в зоне термического влияния.

Водолаз-сварщик заключен в водонепроницаемый костюм и находится в плотной среде, стесняющей его движение, на него действует дополнительное гидростатическое давление, снижающее его подвижность. Водолаз находится в весьма неустойчивом положении с небольшой отрицательной плавучестью. Ухудшенная видимость и наличие подводных течений создают неблагоприятные условия как для существования дугового разряда, так и для работы водолаз-сварщика, что отрицательно сказывается на качестве швов и производительности процесса.

По этим причинам некоторые нормативные документы не рекомендуют применение сварки «мокрым» способом для ремонта тяжело нагруженных элементов металлических конструкций.

Для выполнения сварки «мокрым» способом хорошо зарекомендовали себя электроды компании BROCO. Выпускают две серии электродов для подводной сварки: недорогая серия EasyTouch для сварки слабнонагруженных неотчетственных конструкций и серия SofTouch для выполнения сварки ответственных конструкций.

Механические свойства сварного шва, выполненного электродами серии EasyTouch, находятся на уровне свойств электродов Э42.

Электроды серии SofTouch обеспечивают качество сварного шва, сравнимое со сваркой в обычных производственных условиях. Они могут применяться для сварки швов в различном пространственном положении: горизонтальном, вертикальном, потолочном.

Электроды EasyTouch (серия UW/EZ) выпускают только для сварки углеродистой стали. Электроды SofTouch выпускаются для сварки углеродистой (серия UW/CS) и нержавеющей (серия UW/SS) сталей.

В табл.8.2 приведены рекомендованные значения силы тока для каждого типа электродов SofTouch.

Таблица 8.2

Рекомендованные значения силы тока при подводной сварке

Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Тип свариваемой стали	Ток (А) в зависимости от положения шва		
			Горизонтальное	Вертикальное	Потолочное
UW/CS-1	3,2	углеродистая	150 - 170	140 -165	140 - 160
UW/CS-2	4,0	углеродистая	170 - 210	170 - 210	170 - 190
UW/CS-3	4,8	углеродистая	240 - 280	240 - 280	235 - 275
UW/SS-1	3,2	нержавеющая	130 - 150	125 - 145	125 - 145
UW/SS-2	4,0	нержавеющая	140 - 200	140 - 190	140 - 180

8.3.2. Сварка «сухим» способом

Сварку сухим способом выполняют в глубоководной камере (кессоне), которая вмещает в себя как сварщика, так и сварной узел. Сварка в такой камере осуществляется в газовой среде. Сварные швы, полученные в ней, не отличаются по качеству от сварных швов, выполненных в обычных атмосферных условиях. Глубоководная камера должна герметично прилегать к ремонтируемому под водой участку конструкции и быть достаточно просторной для работы в ней сварщиков. По этой причине она представляет собой громоздкую конструкцию. Ее монтаж на ремонтируемом участке подводного сооружения представляет собой длительный, дорогостоящий и сложный процесс, требующий использования вспомогательных судов и плавучих кранов.

На рис.8.4 в качестве примера показан специализированный подводный кессон Захарова, названный так по имени его конструктора, предназначенный для ремонта под водой «сухим» способом и кессон, сконструированный для ремонта опоры буровой платформы в Южно-Китайском море (Вьетнам).

Для создания естественной среды кессон с открытым дном или подводную сварочно-монтажную камеру устанавливают на место будущего объекта ремонта.

После того как между объектом ремонта и камерой помещены уплотнения, газ, находящийся в водолазном снаряжении, вытесняет морскую воду из камеры. Затем сварщик-водолаз входит в камеру и выполняет сварку в сухой среде.



Рис.8.4. Специализированный подводный кессон Захарова (слева); кессон для ремонта опоры буровой платформы (справа)

Термин сварка «сухим» способом обозначает выполнение сварки при высоком гидростатическом давлении сварщиком-водолазом, полностью находящимся в сухой среде, созданной под водой.

При глубине до 20 м кессон может быть заполнен воздухом. При большей глубине он должен быть заполнен смесью гелия и кислорода, в которой независимо от глубины поддерживается парциальное давление кислорода 29,4 кПа.

8.4. Ремонт опоры морской буровой платформы

Особенности технологии выполнения ремонта под водой рассмотрим на примере устранения повреждения опоры морской буровой платформы в Южно-Китайском море у берегов Вьетнама на месторождении «Белый тигр».

При плановом обследовании подводной части одной из буровых платформ были выявлены трещины в районе соединения опорной стойки и расколов причальной платформы (рис.8.5).

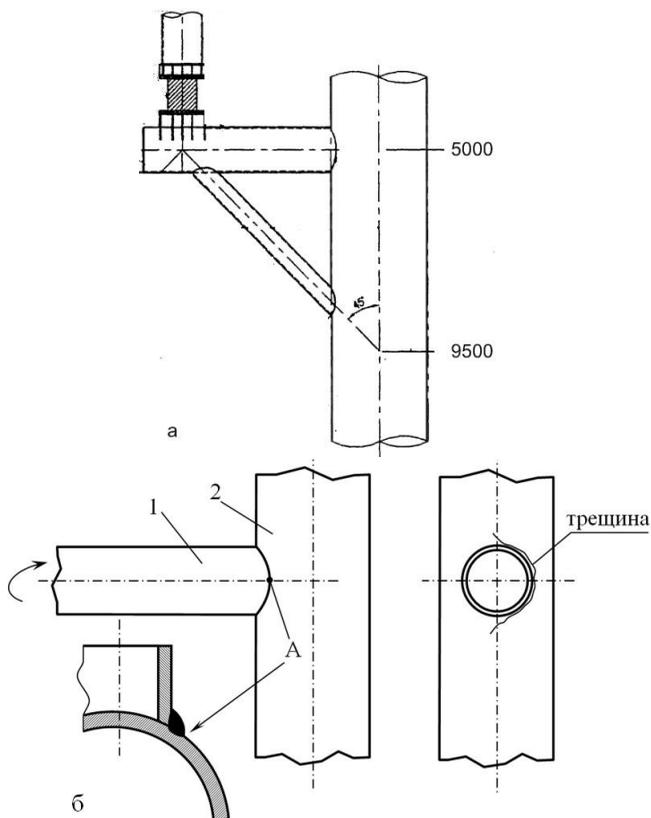


Рис 8.5. Узел присоединения причальной платформы (а)
и схема расположения трещины (б)

Узел присоединения причальной платформы на уровне 5000 мм представляет собой соединение впритык под прямым углом двух труб диаметром около 1000 мм (раскос) и диаметром 2000 мм (опорная стойка). Толщина опорной стойки в месте соединения 38 мм, материал стойки – низколегированная сталь.

Опорные колонны испытывают большие механические нагрузки и коррозионные разрушения под воздействием морской воды, волнения моря, силовых воздействий, например при швартовке судов к платформе. Результаты обследования характера разрушения опоры в районе присоединения причальной платформы позволяют утверждать, что трещина имеет усталостное происхождение. Трещина,

Машины и автоматизация сварочного производства

образовавшаяся в зоне перехода от шва к основному металлу, в процессе эксплуатации развивалась вдоль линии сплавления. После того как трещина обогнула раскос 1 (см. рис.8.5) по полупериметру, ее концы вышли за пределы зоны сплавления и продолжали свое развитие в металле стенки опоры 2. Рис.8.6 иллюстрирует фрагменты развития трещины в опоре.

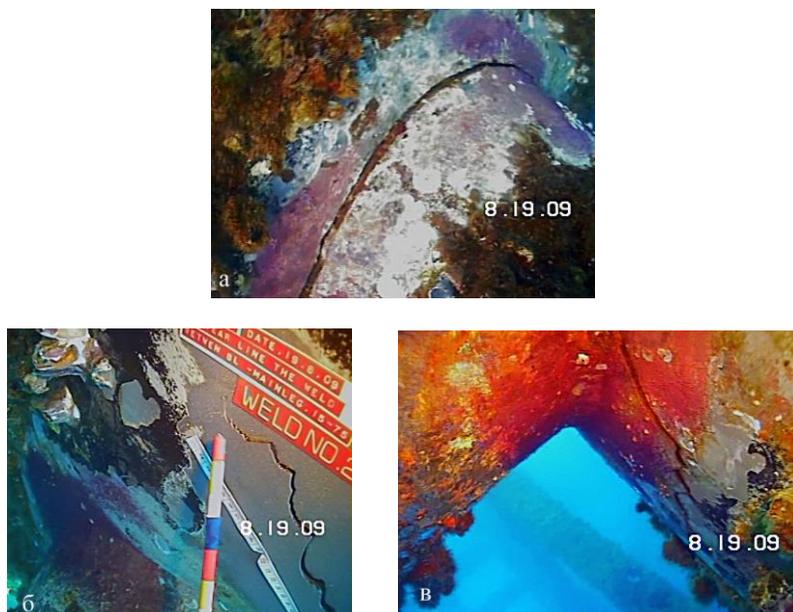


Рис.8.6. Фрагменты развития разрушения опоры:
а – в зоне перехода от углового шва к основному металлу;
б, в – развитие трещины по стенке опоры

Погодные условия в месте расположения буровой платформы (волнение моря, подводные течения и др.) позволяют проводить ремонт только в определенный период года. Однако, судя по характеру развития трещины (на рис.8.6,б,в видно зигзагообразное движение трещины и ветвление ее концов), можно предположить, что дальнейшее развитие разрушения может привести к отрыву раскоса. По этой причине были разработаны две технологии ремонта.

По первой технологии предполагалось заварить трещину и установить в месте разрушения усиливающую накладку на стенку



Машины и автоматизация сварочного производства

опоры. Такая технология позволяла сохранить причальную платформу при условии, что к моменту начала ремонта трещина не получит существенного развития.

Вторая технология предполагала полное удаление раскоса 1 (см. рис.8.5) и установку накладки на отверстие, которое образуется в опорной стойке после удаления раскоса.

При использовании дуговой сварки для ремонта опоры с толщиной стенки 38 мм возникает серьезная проблема предотвращения образования холодных трещин в околошовной зоне, высокая вероятность появления которых обусловлена большой скоростью охлаждения. При сварке конструкций с такой толщиной стенки рекомендуется выполнять предварительный подогрев для уменьшения скорости охлаждения, но при сварке под водой выполнить нагрев практически невозможно вследствие интенсивного охлаждения металла шва и околошовной зоны.

Для того чтобы исключить подогрев при сварке низколегированных сталей, рекомендуют следующий технологический прием. Перед сваркой на свариваемые кромки наплавляют слой аустенитного металла, затем производят сварку наплавленных кромок между собой. Такой прием позволяет создать буферный слой из вязкого аустенитного материала, что способствует уменьшению вероятности образования трещин при сварке. Рекомендуется также вместо сварки встык использовать нахлесточные соединения для снижения остаточных сварочных напряжений, действующих перпендикулярно зоне сплавления.

Обследование, проведенное в 2010 году показало, что по сравнению с 2009 годом произошли существенные изменения. Трещина обошла по контуру узел присоединения раскоса к опорной стойке, в результате чего в трубе опорной стойки образовалось сквозное отверстие (рис.8.7).

Машины и автоматизация сварочного производства

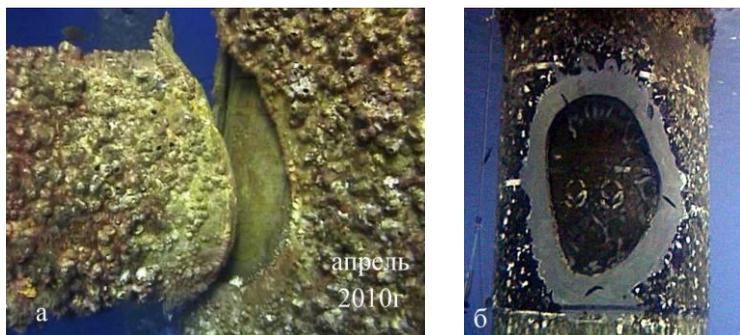


Рис.8.7. Разрушение узла сочленения раскоса и опоры, выявленное при обследовании в 2010 г.

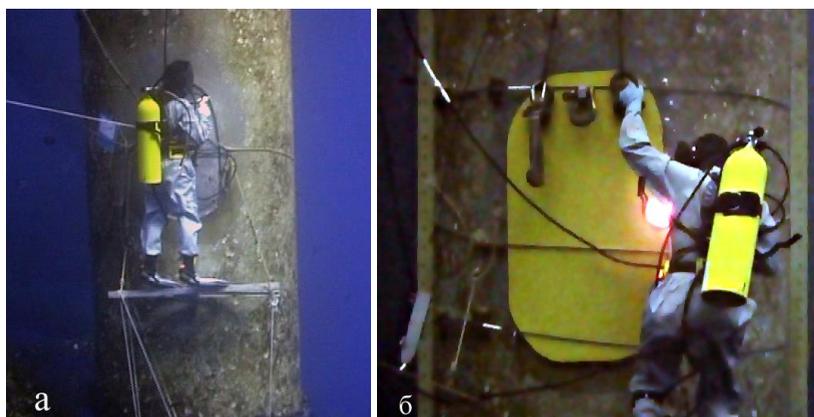


Рис.8.8. Сварка заглушки, герметизирующей отверстие в опоре (а), и сборка на прихватках накладки на опоре (б)

Так как ремонт несущей конструкции нефтяных платформ допускается только «сухим» способом, перед установкой на опору накладку необходимо было герметизировать отверстие. С этой целью внутрь отверстия была введена заглушка в виде изогнутой пластины малой толщины, которую приварили к стенке трубы угловым швом «мокрым» способом (рис.8.8, а). Поскольку заглушка не является частью несущей конструкции, применение «мокрого» способа сварки допустимо. Для сварки были применены аустенитные электроды SoftTouch марки UW/SS-1, рекомендуемые компанией BROCO для «мокрой» сварки. С наружной стороны трубы опоры установили накладку и закрепили ее на прихватках (рис.8.8, б).



Машины и автоматизация сварочного производства

Затем на поврежденную опору устанавливают кессон (см. рис.8.4, б) и в кессоне обваривают накладку по контуру «сухим» способом.

Сварку накладки и корпуса опоры выполняют аустенитными электродами в следующей последовательности (рис.8.9).

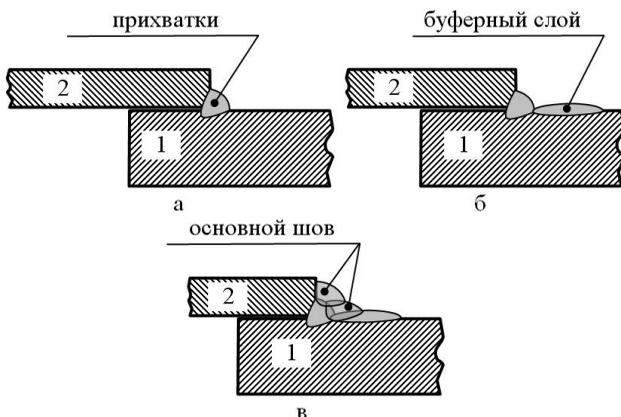


Рис.8.9. Последовательность выполнения швов при сварке накладки (2) и стенки корпуса опоры морской платформы (1)

После сборки на прихватках (рис.8.9, а, «мокрая» сварка) в кессоне производят зачистку участков поверхности колонны шириной 30-40 мм, прилегающих к торцу накладки вдоль всего ее контура, до металлического блеска. Затем на поверхность корпуса опоры наплавляют аустенитными электродами буферный слой вдоль контура накладки (рис.8.9, б, «сухой» способ). Место примыкания буферного слоя к торцу накладки зачищают для удаления шлаковых включений и предотвращения образования карманов. После этого производят сварку основных угловых швов.

Для обеспечения плавного перехода от шва к основному металлу внешний контур шва необходимо обработать абразивным инструментом.

Наличие на поверхности перлитного корпуса опоры аустенитного шва может способствовать увеличению скорости электрохимической коррозии.

Для предотвращения коррозии в месте ремонта необходимо произвести защитную окраску зоны сварки и установить протекторы.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной книге рассмотрены общие принципы и основные технологические приемы ремонта конструкций с применением сварки.

Их изучение позволит на практике обоснованно подходить к разработке конкретного технологического процесса ремонта конструкций, получивших повреждения в период транспортировки, монтажа или эксплуатации.

Прежде чем приступить к выполнению ремонта, необходимо:

- выявить причины появления дефектов или повреждений, их размеры и место расположения (например, нарушение проектных требований, технологии изготовления, условий эксплуатации и др.);

- установить вид повреждения или разрушения (износ поверхности, вмятины, нарушение геометрии, вязкое, хрупкое, коррозионное или усталостное разрушение, расслоение основного металла);

- определить фактическую марку основного и присадочного материалов (если основной металл не может быть достоверно идентифицирован на основании соответствующих документов, должен быть выполнен химический анализ: при ремонте стальных конструкций, период эксплуатации которых превысил 30 лет, необходимо определить содержание в основном металле серы и фосфора; при ремонте конструкций из мелкозернистой стали, необходимо проверить содержание таких элементов, как V, Ti, Nb; B);

- установить требования нормативных документов, инструкций или условий контракта, которым должна соответствовать технология ремонта и критерии качества изделия после ремонта;

- разработать технологию и план проведения ремонта.

Технология ремонта, помимо сварочных процедур, должна включать процедуры подготовки конструкции к сварке, подогрева перед сваркой, требования к межслойной температуре, требования к термической обработке после сварки, требования к методам контроля качества и нормам качества.

Важным элементом технологии сварки при выполнении ремонта является порядок выполнения швов, требования к погонной энергии.

К выполнению сварки при ремонте конструкций допускаются аттестованные сварщики.

Технология ремонта должна пройти производственную аттестацию с целью независимого подтверждения возможности выполне-



Машины и автоматизация сварочного производства

ния ремонта в соответствии с условиями контракта и требованиями нормативных документов.

При организации ремонтных работ необходимо использовать сварочные материалы, обеспечивающие низкое содержание водорода в наплавленном металле. С этой же целью рекомендуется выполнять сварку на постоянном токе и уделять особое внимание хранению сварочных материалов. Электроды перед применением должны пройти прокаливание для удаления влаги, а для их хранения на рабочем месте должны использоваться подогреваемые пеналы.



ЛИТЕРАТУРА

1. Шатов А.П. Сварка и ремонт сварных конструкций с противокоррозионными покрытиями / А.П. Шатов, О.М. Стеклов, В.П. Ступников. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 176 с.
2. ГОСТ 30242-97. Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначения и определения.
3. Строительство и ремонт магистральных и промышленных трубопроводов. Контроль качества и приёмка работ: ВСН 012-88. Часть I. – С.60.
4. Сварка в машиностроении: справочник. В 4х т. – Т.3; под ред. В.А. Винокурова. – М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.
5. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей / Э.Л. Макаров.– М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.
6. Емельянов О.А. Ремонт металлоконструкций электросваркой: справочное пособие / О.А. Емельянов, Г.В.Жемчужников, Э.В. Котенко. – ДГМА, Краматорск, 2002. – 80 с.
7. Стеклов О.И. Прочность сварных конструкций в агрессивных средах / О.И. Стеклов. – М.: Машиностроение, 1976. – 200 с.
8. Сосуды и аппараты. Общие технические требования на ремонт корпусов: ОТУ 1-79. – Волгоград, 1980. – 74 с.
9. Молодык Н.В. Восстановление деталей машин / Н.В. Молодык, А.С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. –279 с.
10. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов: СТО «Газпром» 2–2.2–136–2007: Часть II. – М..
11. Сосуды и аппараты. Общие технические условия на ремонт корпусов: ОТУ 3-01: утв. Департаментом нефтеперерабатывающей промышленности Мосэнерго РФ 11.08.01: ввод в действие с 14.10.02. – Волгоград, 2001. – 116 с.
12. Хромченко Ф.А. Сварочно-термическая технология восстановления работоспособности элементов энергетического оборудования / Ф.А. Хромченко, В.А. Лапа, Р.Н. Калугин // Электрон. журнал «Новое в российской электроэнергетике», №4, апрель 2001 г.
13. Вологдин В.П. Деформации и внутренние напряжения при сварке судовых конструкций / В.П. Вологдин. – М.: Оборонгиз, 1945. – 149 с.



Машины и автоматизация сварочного производства

14. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчёт и проектирование: учебник для вузов / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров; под ред. Г.А. Николаева. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с.

15. Сагалевиц В.М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений / В.М. Сагалевиц. – М.: Машиностроение, 1974. – 248 с.

16. Лукьянов В.Ф. Производство сварных конструкций (изготовление в заводских условиях) / В.Ф. Лукьянов, В.Я. Харченко, Ю.Г. Людмирский. – Ростов н/Д: ООО «Терра принт», 2006. – 336 с.

17. Винокуров В.А. Справочник: в 4 т. Т.2. Сварка в машиностроении / В.А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.

18. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций: учеб. пособие для вузов / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М.: Высшая школа, 1982. – 272 с.

19. Окерблом Н.О. Проектирование технологии изготовления сварных конструкций / Н.О. Окерблом, В.П. Демянцевич, И.А. Байкова. – Л.: Машгиз, 1963. – 234 с.

20. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. Часть I: СТО «Газпром» 2.22-136 2007, СТО 2-2.2 136 2007: утв. Научно-исследовательским институтом природных газов и газовых технологий. – М.: ВНИИГАЗ, 2007 – 193 с.

21. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. Часть II: СТО «Газпром» 2.22-136 2007: СТО 2-2.2-136-2007: утв. Научно-исследовательским институтом природных газов и газовых технологий. – М.: ВНИИГАЗ, 2007. – 193 с.

22. Сварка при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов: РД- 08.00-60.30.00-КТН-050-1-05. – М.: ОАО «АК Транснефть», 2005.

23. Сварка при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов: РД-25.160.00-КТН-011-10.

24. Технология ремонта магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов с давлением до 6,3 МПа: РД-23.040.00-КТН-386-09, 2009.

25. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.

26. Сагиров Х.Н. Механизированная наплавка поверхностей сложной формы с помощью копировальных систем / Х.Н. Сагиров,



Машины и автоматизация сварочного производства

Н.Г. Дюргеров, Д.Х. Сагиров, В.И. Белявский // Сварочное производство. – 1999. – №9. – С.31-33.

27. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка / И.И. Фрумин. – Харьков: Metallurgizdat, 1961. – 421 с.

28. Сагиров Х.Н. Эффективный процесс автоматической наплавки под флюсом / Х.Н. Сагиров, Д.Х. Сагиров, С.Д. Хачкинаев [и др.] // Сварочное производство. – 2003. – №8. – С.41-44.

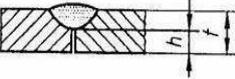
29. Патент 2112632. Способ наплавки / Х.Н. Сагиров, Н.Г. Дюргеров, В.И. Белявский. – от 25.6.1996.

30. Патон Б.Е. Технология электрической сварки плавлением; под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машгиз, 1962. – 659 с.

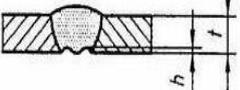
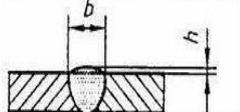
31. Дюргеров Н.Г. Ремонт методом дополнительных деталей / Н.Г. Дюргеров, В.Ф. Лукьянов, А.П. Павлов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. – №1. – С. 19-21.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Предельные значения для несовершенств ISO 5817)

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
1 Поверхностные несовершенства							
1.1	100	Трещина	-	$\geq 0,5$	Не допускается	Не допускается	Не допускается
1.2	104	Трещина в кратере (в конце) сварного шва	-	$\geq 0,5$	Не допускается	Не допускается	Не допускается
1.3	2017	Поверхностные поры	Наибольшая величина единичной поры для - стыковых швов - угловых швов	0,5 до 3	$d \leq 0,3 s$ $d \leq 0,3 a$	Не допускается	Не допускается
			Наибольшая величина единичной поры для - стыковых швов - угловых швов	> 3	$d \leq 0,3 s$, но max. 3 мм $d \leq 0,3 a$, но max. 3 мм	$d \leq 0,2 s$, но max. 2 мм $d \leq 0,2 a$, но max. 2 мм	Не допускается
1.4	2025	Открытая раковина в кратере (в конце шва)		0,5 до 3	$\bar{h} \leq 0,2 t$	Не допускается	Не допускается
				> 3	$\bar{h} \leq 0,2 t$, но max. 2 мм	$\bar{h} \leq 0,1 t$, но max. 1 мм	Не допускается
1.5	401	Непровар (недостаточное сплавление)	-	$\geq 0,5$	Не допускается	Не допускается	Не допускается
		Микро-непровар	Может быть выявлен только с помощью микроскопического исследования		Допускается	Допускается	Не допускается
1.6	4021	Недостаточный провар корня шва	Только для односторонних стыковых сварных швов 	$\geq 0,5$	Короткое несовершенство: $\bar{h} \leq 0,2 t$, но max. 2 мм	Не допускается	Не допускается

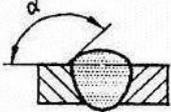
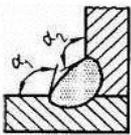
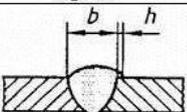
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	ℓ в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
1.7	5011	Непрерывный подрез	Требуется плавный переход. Не является систематическим несовершенством. 	0,5 до 3	Короткое несовершенство: $h \leq 0,2 \ell$	Короткое несовершенство: $h \leq 0,1 \ell$	Не допускается
	5012	Прерывистый подрез					
1.8	5013	Подрез в корне шва	Требуется плавный переход. 	0,5 до 3	$h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,1 \ell$	Короткое несовершенство: $h \leq 0,1 \ell$	Не допускается
				> 3	Короткое несовершенство: $h \leq 0,2 \ell$, но max. 2 мм	Короткое несовершенство: $h \leq 0,1 \ell$, но max. 1 мм	Короткое несовершенство: $h \leq 0,05 \ell$, но max. 0,5 мм
1.9	502	Слишком большое усиление шва (стыковой шов)	Требуется плавный переход. 	$\geq 0,5$	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,25 b$, но max. 10 мм	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,15 b$, но max. 7 мм	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,1 b$, но max. 5 мм

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	ℓ в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
1.10	503	Слишком большое усиление шва (угловой шов)		≥ 0,5	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,25 b$, но max. 5 мм	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,15 b$, но max. 4 мм	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,1 b$, но max. 3 мм
1.11	504	Слишком большое усиление корня шва		0,5 до 3	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,6 b$	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,3 b$	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,1 b$
				> 3	$h \leq 1 \text{ мм} + 1,0 b$, но max. 5 мм	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,6 b$, но max. 4 мм	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,2 b$, но max. 3 мм

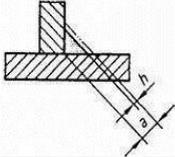
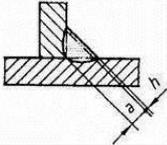
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
1.12	505	Резкая зона перехода шва к основному металлу (неправильный профиль шва)	- стыковые швы 	$\geq 0,5$	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$	$\alpha \geq 150^\circ$
			- угловые швы  $\alpha_1 \geq \alpha$ $\alpha_2 \geq \alpha$	$\geq 0,5$	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha \geq 100^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$
1.13	506	Наплыв наплавленного металла 	$\geq 0,5$	Короткое несовершенство: $h \leq 0,2 b$	Не допускается	Не допускается	
1.14	509	Протёк наплавленного металла Ослабление верхнего слоя сварного шва 	Требуется плавный переход.	0,5 До 3	Короткое несовершенство: $h \leq 0,25 t$	Короткое несовершенство: $h \leq 0,1 t$	Не допускается
	511		> 3	Короткое несовершенство: $h \leq 0,25 t$, но max. 2 мм	Короткое несовершенство: $h \leq 0,1 t$, но max. 1 мм	Короткое несовершенство: $h \leq 0,05 t$, но max. 0,5 мм	
1.15	510	Прожоги	-	$\geq 0,5$	Не допускается	Не допускается	Не допускается

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	ℓ в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
1.16	512	Чрезмерная асимметрия углового шва (чрезмерно неравная длина сторон)	В тех случаях, когда регламентирован симметричный угловой шов 	≥ 0,5	$h \leq 2 \text{ мм} + 0,2 \alpha$	$h \leq 2 \text{ мм} + 0,15 \alpha$	$h \leq 1,5 \text{ мм} + 0,15 \alpha$
1.17	515	Утяжка корня	Требуется плавный переход. 	0,5 до 3	$h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,1 \ell$	Короткое несовершенство: $h \leq 0,1 \ell$	Не допускается
				≥ 3	Короткое несовершенство: $h \leq 0,2 \ell$, но max. 2 мм	Короткое несовершенство: $h \leq 0,1 \ell$, но max. 1 мм	Короткое несовершенство: $h \leq 0,05 \ell$, но max. 0,5 мм
1.18	516	Пористость корня	Губчатая форма корня сварного шва вследствие образования пузырей в наплавленном металле при кристаллизации (например, недостаточная газовая защита корня)	≥ 0,5	Локально допускается	Не допускается	Не допускается
1.19	517	Дефект повторного (после обрыва дуги) начала шва	-	≥ 0,5	Допускается. Предельное значение берется для того несовершенства, которое возникает при повторном начале шва после обрыва дуги	Не допускается	Не допускается

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
1.20	5213	Слишком маленькая толщина углового шва	Не рассматривается для процесса с обеспеченной глубиной провара 	0,5 До 3	Короткое несовершенство: $h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,1 a$	Короткое несовершенство: $h \leq 0,2 \text{ мм}$	Не допускается
				> 3	Короткое несовершенство: $h \leq 0,3 \text{ мм} + 0,1 a$, но max. 2 мм	Короткое несовершенство: $h \leq 0,3 \text{ мм} + 0,1 a$, но max. 1 мм	Не допускается
1.21	5214	Слишком большая толщина углового шва	Фактическая толщина углового шва слишком велика. 	$\geq 0,5$	Допускается	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,2 a$, но max. 4 мм	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,15 a$, но max. 3 мм
1.22	601	Место возбуждения дуги	-	$\geq 0,5$	Допускается, если на свойства основного металла не оказывается никакого влияния	Не допускается	Не допускается
1.23	602	Сварочные брызги	-	$\geq 0,5$	Допустимость зависит от применения, к примеру, материал, коррозионная защита		
2 Внутренние несовершенства							
2.1	100	Трещина	Все типы трещин кроме микротрещин и трещин в кратере в конце сварного шва.	$\geq 0,5$	Не допускается	Не допускается	Не допускается
2.2	1001	Микротрещина	Трещина обычно видна только в микроскоп. (50-кратное увеличение)	$\geq 0,5$	Допускается	Допустимость зависит от типа основного металла и, в первую очередь, от склонности к образованию трещин.	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
2.3	2011 2012	Пора Пористость (равномерно распределенная)	Должны выполняться следующие условия и предельные значения для несовершенств: в качестве информации смотри также приложение В: а1) наибольшая величина площади несовершенства (включая систематическое несовершенство), отнесенная к проецированной площади ПРИМЕЧАНИЕ Пористость на проецированной площади зависит от количества слоев (объема сварного шва) а2) наибольшая величина несовершенства в плоскости поперечного сечения (включая систематическое несовершенство), отнесенная к поверхности разрушения (применимо только в производстве, при испытаниях сварщиков или процедур) б) наибольшая величина единичной поры для - стыковых швов - угловых швов	≥ 0,5	однослойный: ≤ 2,5% многослойный: ≤ 5%	однослойный: ≤ 1,5% многослойный: ≤ 3%	однослойный: ≤ 1% многослойный: ≤ 2%
				≥ 0,5	≤ 2,5%	≤ 1,5%	≤ 1%
				≥ 0,5	$\bar{d} \leq 0,4 s$, но max. 5 мм $\bar{d} \leq 0,4 a$, но max. 5 мм	$\bar{d} \leq 0,3 s$, но max. 4 мм $\bar{d} \leq 0,3 a$, но max. 4 мм	$\bar{d} \leq 0,2 s$, но max. 3 мм $\bar{d} \leq 0,2 a$, но max. 3 мм

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	z в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
2.4	2013	Гнездо (скопление) пор	<p>Вариант 1 ($D > d_{A2}$)</p> <p>Вариант 2 ($D < d_{A2}$)</p> <p>Сумма площадей различных пор ($A_1 + A_2 + \dots$), отнесенная к оцениваемой площади $l_p \times W_p$ (вариант 1).</p> <p>Исходная длина для l_p 100 мм.</p> <p>Если D меньше d_{A1} или d_{A2}, причем действует меньшее значение, огибающая кривая, которая охватывает площадь скопления пор $A_1 + A_2$, нужно рассматривать в качестве площади несовершенства (вариант 2).</p>				

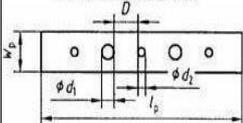
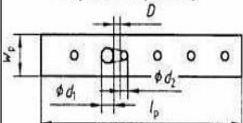


ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	l в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
2.4	2013	Гнездо пор	Должны выполняться следующие условия и предельные значения для несовершенств; в качестве информации смотри также приложение В:				
			a1) наибольшая величина суммарной проецированной площади несовершенства (включая систематическое несовершенство)	≥ 0,5	≤ 16%	≤ 8%	≤ 4%
			b) наибольшая величина единичной поры для - стыковых швов - угловых швов	≥ 0,5	d ≤ 0,4 s, но max. 4 мм d ≤ 0,4 a, но max. 4 мм	d ≤ 0,3 s, но max. 3 мм d ≤ 0,3 a, но max. 3 мм	d ≤ 0,2 s, но max. 2 мм d ≤ 0,2 a, но max. 2 мм



ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

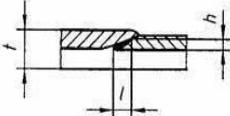
№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
2.5	2014	Цепочка пор	<p>Вариант 1 ($D > d_2$)</p>  <p>Вариант 2 ($D < d_2$)</p>  <p>Сумма площадей различных пор $\left(\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} + \frac{d_2^2 \cdot \pi}{4} + \dots \right)$, отнесенная к оцениваемой площади $l_p \times t_p$ (вариант 1).</p> <p>Если D меньше наименьшего диаметра одной из соседних пор, огибающую поверхность двух пор нужно считать в качестве суммарного несовершенства (вариант 2).</p>				



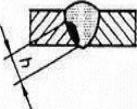
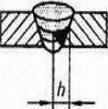
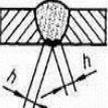
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	z в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
2.5	2014	Цепочка пор	Должны выполняться следующие условия и предельные значения для несовершенств: в качестве информации смотри также приложение В: а1) наибольшая величина несовершенства на поверхности (включая систематическое несовершенство), отнесенная к проецированной площади ПРИМЕЧАНИЕ Пористость на проецированной площади зависит от количества слоев (объема сварного шва) а2) наибольшая величина площади поперечного сечения несовершенства (включая систематическое несовершенство), отнесенная к поверхности разрушения (принемлемо только в производстве, при испытаниях сварщиков или процедур) б) наибольшая величина единичной поры для - стыковых швов - угловых швов	≥ 0,5	однослойный: ≤ 8% многослойный: ≤ 16%	однослойный: ≤ 4% многослойный: ≤ 8%	однослойный: ≤ 2% многослойный: ≤ 4%
				≥ 0,5	≤ 8%	≤ 4%	≤ 2%
				≥ 0,5	$\bar{d} \leq 0,4 s$, но max. 4 мм $\bar{d} \leq 0,4 a$, но max. 4 мм	$\bar{d} \leq 0,3 s$, но max. 3 мм $\bar{d} \leq 0,3 a$, но max. 3 мм	$\bar{d} \leq 0,2 s$, но max. 2 мм $\bar{d} \leq 0,2 a$, но max. 2 мм

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
2.6	2015 2016	Газовый канал Пора удлиненной формы	- стыковые швы	≥ 0,5	$\bar{h} \leq 0,4 s$, но max. 4 мм $l \leq s$, но max. 75 мм	$\bar{h} \leq 0,3 s$, но max. 3 мм $l \leq s$, но max. 50 мм	$\bar{h} \leq 0,2 s$, но max. 2 мм $l \leq s$, но max. 25 мм
			- угловые швы	≥ 0,5	$\bar{h} \leq 0,4 a$, но max. 4 мм $l \leq a$, но max. 75 мм	$\bar{h} \leq 0,3 a$, но max. 3 мм $l \leq a$, но max. 50 мм	$\bar{h} \leq 0,2 a$, но max. 2 мм $l \leq a$, но max. 25 мм
2.7	202	Раковина	-	≥ 0,5	Короткое несовершенство допускается, но не вплоть до поверхности - стыковые швы: $\bar{h} \leq 0,4 s$, но max. 4 мм - угловые швы: $\bar{h} \leq 0,4 a$, но max. 4 мм	Не допускается	Не допускается
2.8	2024	Раковина в кратере в конце шва	 Замеряется большее из значений \bar{h} или l .	0,5 до 3 > 3	$hl \leq 0,2 t$ $hl \leq 0,2 t$, но max. 2 мм	Не допускается	Не допускается
2.9	300 301 302 303	Твердое включение Включение шлака Включение флюса Оксидное включение	- стыковые швы	≥ 0,5	$\bar{h} \leq 0,4 s$, но max. 4 мм $l \leq s$, но max. 75 мм	$\bar{h} \leq 0,3 s$, но max. 3 мм $l \leq s$, но max. 50 мм	$\bar{h} \leq 0,2 s$, но max. 2 мм $l \leq s$, но max. 25 мм
			- угловые швы	≥ 0,5	$\bar{h} \leq 0,4 a$, но max. 4 мм $l \leq a$, но max. 75 мм	$\bar{h} \leq 0,3 a$, но max. 3 мм $l \leq a$, но max. 50 мм	$\bar{h} \leq 0,2 a$, но max. 2 мм $l \leq a$, но max. 25 мм
2.10	304	Металлическое включение	- стыковые швы	≥ 0,5	$\bar{h} \leq 0,4 s$, но max. 4 мм	$\bar{h} \leq 0,3 s$, но max. 3 мм	$\bar{h} \leq 0,2 s$, но max. 2 мм
			- угловые швы	≥ 0,5	$\bar{h} \leq 0,4 a$, но max. 4 мм	$\bar{h} \leq 0,3 a$, но max. 3 мм	$\bar{h} \leq 0,2 a$, но max. 2 мм
2.11	3042	Включение меди	-	≥ 0,5	Не допускается	Не допускается	Не допускается

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	z в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп			
					D	C	B	
2.12	401	Непровар (несплавление)		$\geq 0,5$	Короткое несовершенство допускается, но не вплоть до поверхности - стыковые швы: $h \leq 0,4 s$, но max. 4 мм - угловые швы: $h \leq 0,4 a$, но max. 4 мм	Не допускается	Не допускается	
	4011	Непровар кромок						
	4012	Межслойный непровар						
	4013	Непровар корня шва						

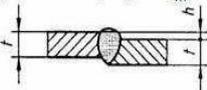
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
2.13	402	Недостаточное проплавление		> 0,5	Короткое несовершенство: $\bar{h} \leq 0,2 a$, но max. 2 мм	Не допускается	Не допускается
				$\geq 0,5$	Короткое несовершенство: - стыковое соединение: $\bar{h} \leq 0,2 s$, но max. 2 мм - Т-стык: $\bar{h} \leq 0,2 a$, но max. 2 мм	Короткое несовершенство: - стыковой шов: $\bar{h} \leq 0,1 s$, но max. 1,5 мм - угловой шов: $\bar{h} \leq 0,1 a$, но max. 1,5 мм	Не допускается
				$\geq 0,5$	Короткое несовершенство: $\bar{h} \leq 0,2 t$, но max. 2 мм	Не допускается	Не допускается

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

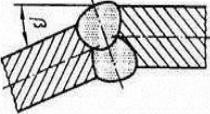
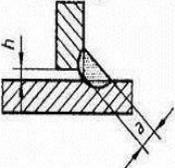
№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
2.13	402	Недостаточное проплавление		> 0,5	Короткое несовершенство: $\underline{h} \leq 0,2 a$, но max. 2 мм	Не допускается	Не допускается
				$\geq 0,5$	Короткое несовершенство: - стыковое соединение: $\underline{h} \leq 0,2 s$, но max. 2 мм - Т-стык: $\underline{h} \leq 0,2 a$, но max. 2 мм	Короткое несовершенство: - стыковой шов: $\underline{h} \leq 0,1 s$, но max. 1,5 мм - угловой шов: $\underline{h} \leq 0,1 a$, но max. 1,5 мм	Не допускается
				$\geq 0,5$	Короткое несовершенство: $\underline{h} \leq 0,2 t$, но max. 2 мм	Не допускается	Не допускается

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
3 Несовершенства геометрии сварного шва							
3.1	507	Смещение кромок	Предельные значения для отклонений относятся к безупречному положению. Если не предписано иначе, безупречное положение задано, когда средние линии совпадают (см. также раздел 1). t относится к меньшей толщине. Смещение кромок в пределах данных границ не рассматривается как систематическое несовершенство (применимо к рисункам А и В).	0,5 до 3	$h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,25 t$	$h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,15 t$	$h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,1 t$
			 Рисунок А: Листы с продольными сварными швами	> 3	$h \leq 0,25 t$, но max. 5 мм	$h \leq 0,15 t$, но max. 4 мм	$h \leq 0,1 t$, но max. 3 мм
			 Рисунок В: Сварные швы по периметру	≥ 0,5	$h \leq 0,5 t$, но max. 4 мм	$h \leq 0,5 t$, но max. 3 мм	$h \leq 0,5 t$, но max. 2 мм



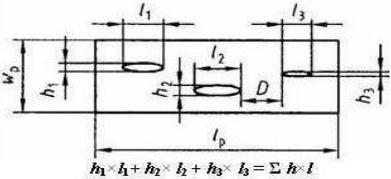
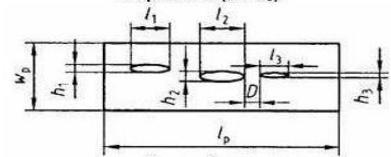
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	z в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
3.2	508	Угловое смещение		$\geq 0,5$	$\beta \leq 4^\circ$	$\beta \leq 2^\circ$	$\beta \leq 1^\circ$
3.3	617	Неправильный зазор у угловых швов	Ограничение по разделу 5 относительно систематического несовершенства не действует. 	0,5 до 3	$h \leq 0,5 \text{ мм} + 0,1 a$	$h \leq 0,3 \text{ мм} + 0,1 a$	$h \leq 0,2 \text{ мм} + 0,1 a$
				> 3	$h \leq 1 \text{ мм} + 0,3 a$, но max. 4 мм	$h \leq 0,5 \text{ мм} + 0,2 a$, но max. 3 мм	$h \leq 0,5 \text{ мм} + 0,1 a$, но max. 2 мм

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ.

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	t в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
4 Множественные несовершенства							
4.1	Нет	<p>Множественные несовершенства в любом поперечном сечении^{а)}</p> <p>Поперечное сечение (макрослиф) из неблагоприятной зоны шва</p>	<p style="text-align: center;">$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 = \Sigma h$</p>	0,5 до 3	Не допускается	Не допускается	Не допускается
				> 3	<p>Максимальная суммарная высота несовершенств $\Sigma h \leq 0,4 t$ или $\leq 0,25 a$</p>	<p>Максимальная суммарная высота несовершенств $\Sigma h \leq 0,3 t$ или $\leq 0,2 a$</p>	<p>Максимальная суммарная высота несовершенств $\Sigma h \leq 0,2 t$ или $\leq 0,15 a$</p>
а) Смотри приложение А.							

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛ

№	Классификационный № по ISO 6520-1	Несовершенство Наименование	Примечания	l в мм	Предельные параметры для несовершенств из оценочных групп		
					D	C	B
4.2	Нет	Площадь отображения или площадь поперечного сечения в продольном направлении	<p>Вариант 1 ($D > l_3$)</p>  <p>$h_1 \times l_1 + h_2 \times l_2 + h_3 \times l_3 = \Sigma h \times l$</p> <p>Вариант 2 ($D < l_3$)</p>  <p>$h_1 \times l_1 + h_2 \times l_2 + \left(\frac{h_2 + h_3}{2} \right) \times D + h_3 \times l_3 = \Sigma h \times l$</p> <p>Сумма поверхностей $\Sigma h \times l$ должна быть рассчитана в процентах в отношении к оцениваемой площади $\frac{1}{4} \times \pi \times D \times l_p$ (вариант 1). Если D меньше наименьшей длины одного из рассматриваемых несовершенств, полное соединение двух несовершенств нужно назначать в качестве суммы несовершенств (вариант 2). ПРИМЕЧАНИЕ: Для информации смотри также приложение В.</p>	≥ 0.5	$\Sigma h \times l \leq 16\%$	$\Sigma h \times l \leq 8\%$	$\Sigma h \times l \leq 4\%$