



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Машины и автоматизация сварочного производства»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИИ

**(изготовление в заводских усло-
виях)**

Автор

В.Ф. Лукьянов, В.Я. Харченко, Ю.Г. Людмирский

Ростов-на-Дону, 2013



Аннотация

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства»

Авторы

Лукьянов В.Ф. - д.т.н., проф.

Харченко В.Я. - к.т.н., проф.

Людмирский Ю.Г.- д.т.н., проф.





Оглавление

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ	6
1.1. Принципы построения технологического процесса ...	6
1.2. Расчленение конструкции на сборочные единицы ...	14
1.3. Обоснование выбора способа сварки	15
1.4. Разработка схемы технологического процесса изготовления конструкции	17
2. СЕРТИФИКАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	21
2.1. Цель сертификации сварочного производства	21
2.2. Сертификация сварочного производства в соответствии с международным стандартом ISO 3834	24
2.3. Общие принципы аттестации сварочных технологий	36
3. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	52
3.1. Заготовительные операции, приемы выполнения, оборудование	53
3.2. Транспортные операции	83
3.3. Вспомогательное оборудование для взаимного ориентирования и перемещения свариваемого изделия и сварочного устройства	86
3.4. Сборочные операции	94
3.5. Операции по уменьшению деформаций и напряжений, возникающих при сварке	108
4. ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ БАЛОК	128
4.1. Технические условия на изготовление балочных конструкций	131
4.2. Изготовление двутавровых и тавровых балок в мелкосерийном производстве	133
4.3. Изготовление балок в крупносерийном производстве	140
4.4. Изготовление балок с применением сварки токама высокой частоты	151



Оборудование и технологии сварочного производства

4.5. Изготовление балок коробчатого сечения	155
4.6. Технология изготовления ортотропных панелей мостового полотна	159
5. РАМНЫЕ КОНСТРУКЦИИ	162
5.1. Технологические особенности изготовления рамных конструкций	162
5.2. Пример изготовления рамной конструкции	168
6. РЕШЕТЧАТЫЕ КОНСТРУКЦИИ	173
6.1. Приемы сборки в индивидуальном и мелкосерийном производстве	173
6.2. Изготовление решетчатых конструкций в условиях массового производства	185
7. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ	193
7.1. Особенности проектирования технологии изготовления	193
7.2 . Типовые технологии изготовления тонкостенных сосудов	201
7.3. Изготовление сосудов из металла средней толщины	209
7.4. Изготовление толстостенных сосудов	216
7.5. Особенности изготовления теплообменных аппаратов	227
8. ОСНОВЫ РОБОТИЗАЦИИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	235
8.1. Перспективы применения сварочных роботов	235
8.2. Промышленные роботы, используемые в сварочном производстве	237
8.3. Использование роботов для контактной точечной сварки	241
8.4. Роботизация процессов электродуговой сварки	249
8.5. Пример разработки роботизированного комплекса дуговой сварки каркаса подбарабannya комбайна «ДОН-1500»	



.....259

9. Нетрадиционные технологии сварки, применяемые при изготовлении сварных конструкций 278

9.1. Лазерные технологии в машиностроении 279

9.2. Применение сварки трением с перемешиванием ... 298
при изготовлении сварных конструкций 298

9.3. Технология присоединения крепежных деталей 306

Приложение

Составление технического задания на разработку нестандартной технологической оснастки. 398

Список рекомендуемой литературы 407



1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

1.1. Принципы построения технологического процесса

Стратегия организации производства состоит в том, чтобы обеспечить выпуск продукции, соответствующей техническим условиям и нормативным документам при этом качество и стоимости продукции должны гарантировать ее конкурентоспособность на выбранных рынках.

Жизненный цикл сварной конструкции начинается с разработки технического задания на проектирование, в котором, в соответствии с ГОСТ 15.001¹ должны быть представлены исходные данные – такие как, например, техническая характеристика конструкции, условия эксплуатации и некоторые рекомендации по конструированию.

На основании технического задания (ТЗ), в котором отражены требования к конструкции, конструктор выполняет эскизный проект, назначает конструкционные материалы, выполняет расчеты несущих элементов конструкции, назначает расчетно-обоснованные параметры сварных соединений и швов. Затем он выполняет оформление проектно-конструкторской документации в соответствии с системой стандартов, называемой ЕСКД (единая система конструкторской документации).

В качестве технического задания допускается также использовать любой документ (контракт, протокол, эскиз и др.), содержащий необходимые и достаточные требования для разработки и признанный заказчиком и разработчиком, а также образец продукции, предназначенный для воспроизведения.

В ТЗ включаются прогнозируемые показатели технического уровня продукции с отражением уровня стандартизации и унификации. ТЗ содержит технико-экономические требования к продукции, определяющие ее потребительские свойства и эффективность применения, перечень документов, требующих совместного рассмотрения, порядок сдачи и приемки результатов разработки. ТЗ может содержать требования к технологической подготовке производства, проведению экспертизы.

¹ ГОСТ 15.001. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения.



Оборудование и технологии сварочного производства

Неотъемлемой частью комплекта конструкторской или другой технической документации на продукцию являются технические условия на изготовление (ТУ)².

ТУ разрабатывается по решению разработчика (изготовителя) или по требованию заказчика (потребителя) продукции и должны содержать полный комплекс требований к продукции, ее изготовлению, контролю и приемке.

ТУ должны содержать вводную часть и разделы, расположенные в следующей последовательности: технические требования; требования безопасности; требования охраны окружающей среды; правила приемки; методы контроля; транспортирование и хранение; указания по эксплуатации; гарантии изготовителя.

Состав разделов и их содержание определяет разработчик в соответствии с особенностями продукции. При необходимости ТУ, в зависимости от вида и назначения продукции, могут быть дополнены другими разделами (подразделами) или в них могут не включаться отдельные разделы (подразделы), или отдельные разделы (подразделы) могут быть объединены в один.

Следующим этапом жизненного цикла сварных конструкций является технологическая подготовка производства (ТПП), которая представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятия к выпуску продукции необходимого качества при установленных сроках, объеме производства и затратах. Содержание и объем ТПП зависят от типа производства, конструкции и назначения изделия. Под технологической готовностью понимается наличие полного комплекта технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для производства новых изделий.

Основная задача ТПП - обеспечить высокое качество изготовления изделий и создать необходимые условия для роста производительности труда, улучшения использования оборудования, снижения расхода сырья, материалов, топлива, энергии.

В процессе технологической подготовки производства решается широкий круг вопросов. Основные из них:

- отработка конструкции нового изделия на его технологичность;
- разработка технологических процессов изготовления изделия;

² ГОСТ 2.114-95 Технические условия. Единая система конструкторской документации. Межгосударственный стандарт.



Оборудование и технологии сварочного производства

- разработка ТЗ на проектирование нестандартной оснастки
- проектирование специальной оснастки и оборудования;
- определение потребности в оборудовании и его планировка;
- проектирование межоперационного транспорта и контроля.

Параллельно с разработкой конструкторской документации конструктор совместно с технологическими службами проводит анализ сварной конструкции на технологичность³. Данный этап проектирования является весьма важным при создании сварной конструкции, поскольку ошибки, допущенные на данном этапе, могут привести к существенным экономическим потерям и в некоторых случаях совершенно исключает возможность применения сварки или других технологических процессов.

Затем документацию передают технологам, для разработки технологического процесса изготовления сварной конструкции.

Исходными данными для разработки технологического процесса, являются рабочие чертежи изделия, ТУ, условия его эксплуатации, программа выпуска, а также нормативные документы, регламентирующие процедуру оформления технологического процесса – это система стандартов, называемая ЕСТПП (единая система технологической подготовки производства) и ЕСТД (единая система технологической документации).

Технологическое проектирование начинается с разработки маршрутной технологии, в которой определяются последовательность выполнения основных операций и закрепление их в цехах за конкретными группами оборудования. По маршрутной технологии за каждым цехом и участком закрепляются обрабатываемые виды продукции, указываются оборудование, инструменты, специальность рабочих, разряды работ и нормы времени.

В индивидуальном и мелкосерийном производствах, а также на предприятиях со сравнительно простой технологией разработка технологических процессов обычно ограничивается маршрутной технологией. В массовом же и крупносерийном производствах вслед за маршрутной разрабатывается более подробная пооперационная технология, которая содержит подробное описание всех технологических операций.

³ Вопросы, связанные с технологической подготовкой и отработкой конструкции на технологичность, будут рассмотрены при изучении дисциплины «Технологическая подготовка сварочного»



Оборудование и технологии сварочного производства

При разработке технологического процесса важной задачей является выбор экономически эффективных способов изготовления изделия. Выбранная технология производства должна обеспечивать высокое качество изготовления продукции, повышение производительности труда и наиболее низкую себестоимость изделий по сравнению с другими вариантами.

В ускорении технологической подготовки производства исключительно важная роль принадлежит типовым технологическим процессам, под которыми понимаются обобщенные схемы изготовления деталей однородных классификационных групп. Внедрение типовых технологических процессов позволяет сократить объем технологической документации, ускорить проектирование технологического процесса, сократить длительность производственного цикла, ускорить процесс технического нормирования, повысить техническое оснащение производства, снизить трудоемкость изготовления продукции и себестоимость.

Типизация технологических процессов создает необходимые предпосылки для агрегатирования и стандартизации технологического оснащения, что значительно сокращает трудоемкость проектирования и изготовления оснастки, которая занимает около 80% по длительности и 90% общих затрат на технологическую подготовку производства.

При разработке технологического процесса необходимо руководствоваться нормативно-технической документацией, в которой отражен накопленный опыт изготовления аналогичных конструкций. Примерами таких документов являются:

- ОСТ – отраслевой стандарт;
- СТП – стандарт предприятия;
- ПБ – правила безопасности (используются при проектировании, изготовлении, монтаже и ремонте оборудования опасных технических устройств);
- РД – руководящий документ;
- СНиП – строительные нормы и правила;
- ВСН – ведомственные строительные нормы;
- СП – свод правил.

Полезно при разработке технологического процесса использовать типовые технологические процессы и технологические инструкции.

Разработка технологического процесса изготовления сварной конструкции завершается разработкой Карты технологического процесса, где должны быть изложены все требования к выполнению сварного соединения, включая подготовку кромок,



Оборудование и технологии сварочного производства

сборку, последовательность сварки, режимы сварки, подогрев кромок, термическую обработку, объем и методы контроля, требования к качеству.

Документом, регламентирующим технологию сварки при монтаже сварных конструкций или при ремонте является Проект производства работ (ППР).

В международной практике карту технологического процесса сварки называют WPS – welding procedure specification. WPS является основным технологическим документом для выполнения сварочных работ.

Технолог руководит всей работой по подготовке производства, начиная от проработки конструкции на технологичность, и заканчивая сдачей готовой продукции.

Разработка технологического процесса начинается (рис.1.1) с анализа исходных данных и детального изучения конструкции по рабочим чертежам и другой конструкторской документации. Целью этого этапа является получение информации об условиях эксплуатации конструкции, конструкционных материалах, их эксплуатационных и сварочно-технологических свойствах, о сварных соединениях и швах, их расчетных параметрах, протяженности и конфигурации, толщине свариваемых элементов и требованиях к качеству сварных соединений. Эта информация является исходной для проведения анализа технологичности конструкции и возможности её изготовления на данном предприятии.



Оборудование и технологии сварочного производства

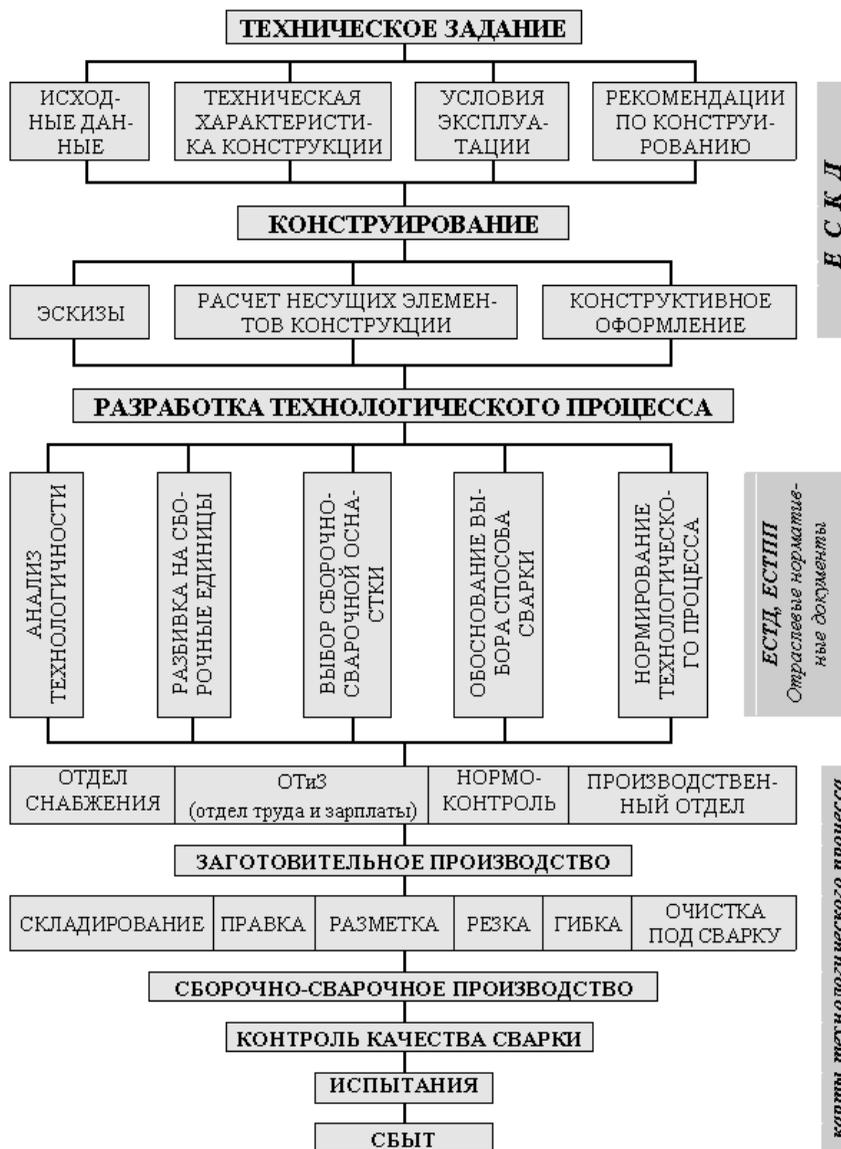


Рис. 1.1. Этапы создания сварных конструкций.



Оборудование и технологии сварочного производства

В соответствии с ГОСТ 14.205-83: **технологичность конструкции изделия (технологичность)** – это совокупность свойств конструкции изделия, определяющих её приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

В зависимости от области проявления различают производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность конструкции изделия.

Технологичным конструктивным решением является такое решение, которое обеспечивает наиболее простое, быстрое и экономичное изготовление и монтаж конструкции при соблюдении условий прочности, устойчивости и требуемых эксплуатационных качеств.

Технологичность является понятием комплексным, охватывающим экономические, технологические и качественные показатели, основными из которых являются: *себестоимость, трудоемкость и качество.*

Достижение высоких показателей технологичности изделия, осуществляется на основе взаимосвязанного решения конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, снижение затрат и сокращения времени на проектирование, технологическую подготовку производства, изготовление, техническое обслуживание и ремонт при сохранении необходимого качества изделия. Такая совокупность мероприятий называется **отработкой изделия на технологичность**.

Отработку изделия на технологичность следует начинать с детального изучения исходных данных, определяющих вид изделия, объем выпуска и тип производства. Вид изделия определяет главные конструктивные и технологические признаки, обуславливающие основные требования к технологичности конструкции. Объем выпуска и тип производства определяют целесообразную степень технологического оснащения, механизации и автоматизации технологических процессов. Кроме этого изучается перспективность данного изделия, степень его новизны, опыт данного предприятия и предприятий с аналогичным производством, возможность применения новых оригинальных технологий.

С учетом этих данных выбираются критерии оценки технологичности конструкции изделия, методы их расчета и сравнительной оценки с базовыми или нормативными показателями. По



Оборудование и технологии сварочного производства

принятым критериям выявляются и оцениваются свойства конструкции изделия с позиции экономии затрат по ее выпуску, ремонту и эксплуатации, сокращения сроков выпуска, улучшения условий труда в процессе производства. Анализ подобного рода носит название – *анализ технологичности конструкции изделия*. Принятые при этом критерии оценки технологичности называются – *показателями технологичности*.

На основе проведенного анализа делается заключение о целесообразности выпуска рассматриваемого изделия данными технологическими приёмами. Если полученный уровень технологичности удовлетворяет требования, предъявляемым к выпуску аналогичных изделий, изделие считается пригодным для запуска в производство. В противном случае изыскиваются дополнительные мероприятия с целью повышения технологических качеств конструкции. Обычно такие мероприятия связаны с изменением конструктивного оформления изделия, разбивкой изделия на другие сборочные единицы, корректировкой технологии его изготовления.

При отработке изделия на технологичность следует руководствоваться следующими принципами:

- Необходимо соблюдать технологическую преемственность, заключающуюся в максимальном использовании технологии и оснастки, применявшейся при изготовлении ранее выпускавшейся продукции. Применение этого принципа основано на типизации технологических процессов и элементов его оснащения.
- Предусматривать возможность применения комплексной механизации и автоматизации производства, в том числе в условиях малой серийности и частой смены изготавливаемых объектов. Данный принцип основывается на унификации и стандартизации элементов технологической оснастки, подборе оборудования (специального в условиях крупносерийного и массового производства и универсального при мелкосерийном производстве), применения агрегатирования.
- Осуществлять разбивку металлоконструкции на сборочные единицы, обеспечивающую параллельную организацию работ по их изготовлению.
- Увязывать технологичность отдельных элементов с технологичностью изделия в целом.



1.2. Расчленение конструкции на сборочные единицы

При изготовлении сварных конструкций, содержащих большое количество деталей, целесообразно на стадии разработки технологического процесса расчленить конструкцию на сборочные единицы. Такой прием имеет ряд преимуществ:

- повышается технологичность конструкции;
- появляется возможность организовать параллельное изготовление сборочных единиц, что позволяет расширить фронт работ, привлечь к изготовлению большее количество рабочих и сократить сроки выпуска конструкции, что экономически выгодно, поскольку сокращает период оборота капитала;
- улучшает доступность мест выполнения сварки;
- улучшает доступность сварных соединений для выполнения операций контроля качества;
- упрощает технологию механической обработки за счет уменьшения габаритов и веса конструкции, а так же лучшей доступности мест обработки;
- появляется возможность выполнить механическую обработку деталей до сборки и сварки, что сокращает отходы металла и позволяет осуществить взаимное позиционирование деталей без сборочных приспособлений;
- позволяет уменьшить уровень остаточных напряжений в результате меньшей жесткости сборочной единицы по сравнению с целой конструкцией;
- появляется возможность уменьшения сварочные деформации путем их компенсации при сборке и сварке конструкции в целом;

В некоторых случаях предпочтение отдают другой технологии, когда вначале производится сборка конструкции в целом из отдельных деталей и затем сварка швов. Поскольку в этом случае конструкция обладает большей жесткостью, чем отдельные сборочные единицы, деформации конструкции после сварки оказываются меньше по величине, но именно по этой причине уровень остаточных напряжений в конструкции выше.

Существует третья технология. Изготовление ведут путем постепенного наращивания конструкции, за счет присоединения отдельных деталей и изготовленных ранее сварочных единиц.

При разбивке конструкции на сборочные единицы технолог руководствуется количеством, конфигурацией и толщиной деталей, составляющих сварную конструкцию, а также програм-



мой выпуска изделия, учитывает так же особенности сборочно-сварочного и вспомогательного оборудования.

Процесс выбора варианта расчленения конструкции на сборочные единицы трудно поддается формализации, и получение оптимального решения во многом зависит от опыта технолога. Вместе с тем можно сформулировать несколько общих рекомендаций, позволяющих получать приемлемый результат;

- необходимо стремиться к максимальному упрощению конструкции за счет увеличения их количества и уменьшения числа в них деталей;

- желательно, чтобы в сборочных единицах сварные швы располагались симметрично или возможно ближе к центру тяжести сечения. Это позволит уменьшить величину остаточных деформаций;

- необходимо стремиться к тому, чтобы обеспечить доступность сварных швов и расположение их в удобном для сварки нижнем положении при минимальном количестве перемещений узла. Лучше, когда в сборочной единице швы располагаются в одной или нескольких параллельных плоскостях;

- нежелательно, чтобы в одной сборочной единице требовалось использовать несколько различных способов сварки;

- конструкция сборочной единицы должна быть удобной для транспортировки и достаточно жесткой, чтобы исключить возможность ее деформирования при транспортировке с одного рабочего места к другому.

1.3. Обоснование выбора способа сварки

При назначении способа сварки сборочных единиц, технолог определяет вначале возможные способы сварки для каждой сборочной единицы и после сравнительного анализа – целесообразность их использования. Далее, исходя из технологических и экономических соображений, с учетом обеспечения высокой производительности и качества, технологического оснащения производства выбирает оптимальный вариант. На этом этапе работы над разработкой технологического процесса технолог определяет параметры режимов сварки, основываясь на рекомендациях технологических инструкций и нормативных документах для конкретного материала и его толщины, либо путем расчета по существующим методикам. При освоении новых для конкретного предприятия способов сварки, сварочных материалов или конструкционных сталей и сплавов, возможно и желательно пользоваться рекомендациями лаборатории сварки по назначению режимов,



Оборудование и технологии сварочного производства

основанными на экспериментальных данных, полученных в процессе технологических исследований.

Выбор способа сварки, как правило, сугубо индивидуален и зависит от многих факторов. Тем не менее, исходя из сложившейся на сегодняшний день практики, можно высказать следующие общие рекомендации по выбору способа сварки. Наиболее высокую производительность обеспечивает контактная сварка, но, если исключить конструкции из тонколистового металла, то наибольший объем применения находят дуговые способы сварки плавлением, благодаря их универсальности, мобильности и отсутствия ограничений по толщине свариваемых материалов.

Наиболее универсальным и мобильным способом сварки является ручная дуговая сварка покрытым электродом. Основные преимущества этого способа состоят в возможности выполнения швов в различных пространственных положениях, расположенных на большом расстоянии друг от друга, но относительно низкая производительность и большая трудоемкость являются основной причиной постоянного сокращения объема применения ручной дуговой сварки.

Из дуговых способов сварки наибольшую производительность наплавки обеспечивает сварка под флюсом, но это способ имеет ограничения, связанные с необходимостью удерживать флюс на поверхности деталей и удалять его после сварки. Поэтому автоматическую сварку под флюсом целесообразно применять для выполнения прямолинейных, кольцевых и круговых швов деталей толщиной свыше 4 мм в нижнем положении.

Сварка в среде защитных газов и сварка порошковой проволокой несколько уступает по производительности наплавки сварке под флюсом, но зато обладает большей маневренностью. Объем применения этих способов сварки постоянно увеличивается, особенно для сварки коротких или сложных по конфигурации швов, различно ориентированных в пространстве. Особенно заметен рост объемов применения сварки в смеси защитных газов проволокой сплошного сечения и сварки с применением самозащитной порошковой проволоки.

Динамика изменения объемов применения различных методов сварки плавлением в промышленно развитых странах мира показана рис. 1.2. Обращает на себя внимание тот факт, что во всех странах отмечается интенсивное увеличение относительного объема применения сварки в защитных газах при непрерывно сокращающихся объемах ручной дуговой сварки.

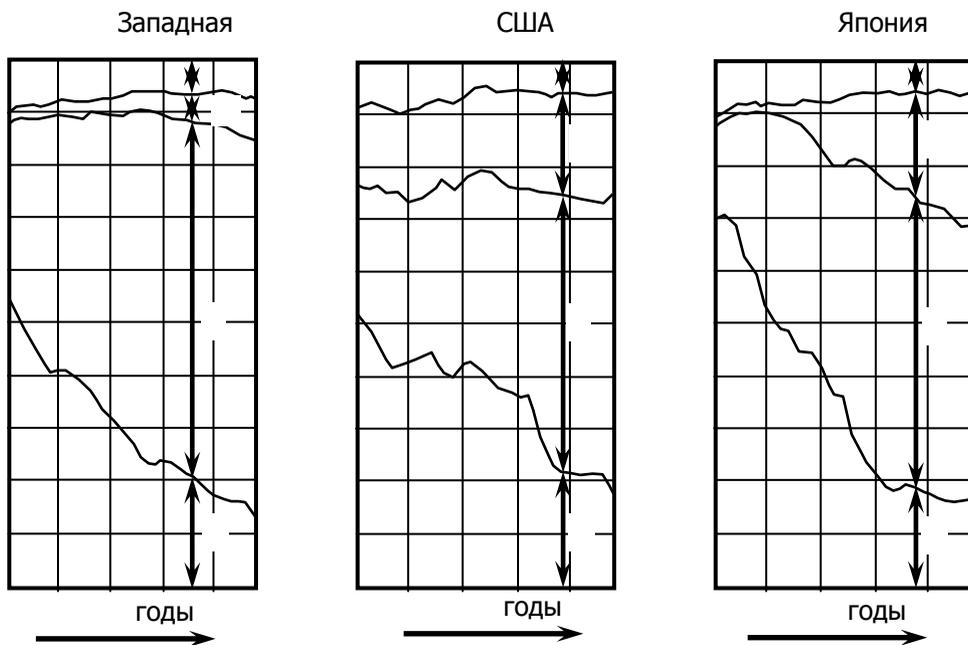


Рис. 1.2. Изменение относительного объема применения различных методов сварки.

I – ручная дуговая сварка покрытым электродом; II – сварка плавящимся электродом, в защитных газах; III – сварка порошковой проволокой; IV – сварка под флюсом.

Очевидно, что эти данные свидетельствуют о непрерывном сокращении доли ручной дуговой сварки покрытым электродом. Экономически более обосновано использовать во многих случаях сварку в защитных газах, как механизированную, так и автоматическую особенно для промышленных роботов.

1.4. Разработка схемы технологического процесса изготовления конструкции

Решения технолога, принятые на рассмотренных этапах, позволяют приступить к разработке схемы технологического процесса изготовления конструкции, включающей все операции производственного процесса, начиная от выбора исходной заготовки, для каждой детали, составляющей сборочную единицу, в том числе, операции заготовительного производства, сборочные, сварочные, операции контроля качества и исправления дефектов сварки. При разработке схемы необходимо выделить сборочные



Оборудование и технологии сварочного производства

единицы, сгруппировать составляющие им детали, определить приемы выполнения технологических операций и основные параметры режимов сварки.

При выборе исходной заготовки для изготовления деталей, целесообразно отдавать предпочтение листовому, сортовому и профильному прокату, как наиболее универсальному материалу. В некоторых случаях, особенно для толстостенных и массивных деталей сложного профиля используют заготовки, полученные литьем или в виде поковок. При этом необходимо иметь в виду, что стальные отливки могут иметь повышенное содержание серы, в результате чего возрастает опасность появления горячих трещин при сварке плавлением. Это необходимо учитывать в дальнейшем при разработке технологии сварки. Размеры исходных заготовок следует выбирать так, чтобы при последующем раскрое заготовок коэффициент использования материала был не менее 85%.

На этапе разработки схемы технологического процесса необходимо уделять внимание выбору технологии и оборудования для заготовительных операций, поскольку они оказывают существенное влияние на качество сварного соединения. Например, чрезмерная пластическая деформация металла может способствовать появлению трещин или деформационного старения при сварке; точность исходных заготовок определяет точность сварной конструкции, а нарушение точности ведет к появлению дефектов.

На этом этапе формируют исходные данные для выбора сборочно-сварочной оснастки и приспособлений, а также составляют техническое задание на проектирование нестандартного оборудования, технологической оснастки и приспособлений. При этом должны быть решены такие вопросы как: выбор схемы базирования деталей в приспособлении, друг относительно друга и по отношению к сварочному инструменту, выбор вариантов закрепления деталей, обоснование количества поворотов и кантовок изделия с целью удобства сварки и др.

Разработка и изготовление нестандартного оборудования позволяет учесть особенности изготовления конкретного изделия и обеспечить существенное повышение производительности и качества, но это нередко требует больших затрат, что, как правило, экономически оправдано при большом объеме выпуска изделий. Необходимость использования нестандартного оборудования всегда требует технического и экономического обоснования. В некоторых случаях применение нестандартного оборудования



Оборудование и технологии сварочного производства

может быть оправданным, когда к точности и качеству конструкции предъявляют особо высокие требования.

В мелкосерийном производстве стремятся использовать типовое, стандартизованное или выпускаемое серийно вспомогательное оборудование универсальные сборочные приспособления и др.

Иногда возможно рационально использовать типовое вспомогательное оборудование совместно со специализированным, либо с небольшими конструктивными изменениями использовать только типовое оборудование.

Порядок составления технического задания на разработку специализированного оборудования и оснастки приведен в Приложении.

На этапе разработки схемы технологического процесса, также, приходится решить вопросы перемещения деталей и сборочных единиц, их позиционирования относительно сварочного оборудования. С этой целью должен быть сделан обоснованный выбор вращателей, позиционеров, кантователей, сварочных колонн и тележек.

После завершения разработки схемы технологического процесса изготовления приступают к детальной проработке самих технологических процессов отдельных операций. При этом основное внимание должно быть уделено технологии сварки, поскольку именно она определяет требования к другим технологическим процессам. На этом этапе должны быть определены конкретные значения технологических параметров и требования к качеству выполнения каждого процесса, включая заготовительные и сборочные, поскольку они во многом определяют возможность обеспечения качества сварных соединений. В качестве основы используют типовые технологические процессы, технологические инструкции, отраслевые стандарты, руководящие документы. В этих и других нормативных документах сконцентрирован многолетний опыт производства сварных конструкций, что позволяет избежать повторения ошибок и обеспечить выполнение технически обоснованных требований к качеству.

Результаты, полученные при разработке рассмотренных этапов, позволяют технологу приступить к оформлению карт технологического процесса сборки, сварки и контроля качества сварных соединений, руководствуясь ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП. В технологические карты вносятся все операции и переходы, необходимые для изготовления сварной конструкции, приемы выполнения этих операций и технологическое оборудование с конкретными



Оборудование и технологии сварочного производства

ми параметрами режимов выполнения операций.

Разработанная технологическая документация после согласований и утверждений, принятых технических решений, передается в службу нормирования технологического процесса, где определяются наименование и количество необходимых для производства основных и вспомогательных материалов, расходы, связанные с потреблением энергоресурсов и др. Также определяется время выполнения технологических операций и трудоемкость изготовления всего изделия. Эти показатели являются основанием для экономических расчетов, определяющих экономическую целесообразность производства сварных конструкций в условиях конкретного предприятия по разработанной технологии.

После принятия решений о возможности и целесообразности производства рассматриваемой сварной конструкции и проверки технологической документации, технологический процесс передают в производственные структуры предприятия.

Отдел снабжения и комплектации получает необходимую информацию из технологической документации об исходных конструкционных и вспомогательных материалах – сортаменту и требуемых количествах на единицу продукции и годовую программу выпуска, для создания на предприятии запаса этих материалов, обеспечивающего бесперебойное производство.

Отдел труда и заработной платы устанавливает потребное количество рабочих основных и вспомогательных, инженерно-технических работников, их заработную плату, и формирует штатное расписание и фонд заработной платы.

Производственный отдел в соответствии с технологическим процессом приступает к подготовке производства, которая включает организацию рабочих мест, их комплектацию необходимым оборудованием, транспортными средствами и квалифицированными рабочими. Цеховые технологические службы изучают технологический процесс и отрабатывают технологические режимы выполнения сборочно-сварочных операций на устанавливаемом оборудовании, обучают рабочих приемам выполнения требуемых операций и участвуют в аттестационных мероприятиях по производственной аттестации технологии и специалистов.

Весь комплекс мероприятий, рассмотренных выше, называется *технологическая подготовка производства*. Общее руководство этими работами осуществляет главный сварщик предприятия.

Более детально вопросы технологической подготовкой производства будут рассмотрены в специальном курсе.



2. СЕРТИФИКАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

2.1. Цель сертификации сварочного производства

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в области сварочного производства, с сожалением приходится констатировать тот факт, что недостаточное качество сварных соединений относится к числу значимых причин преждевременного разрушения конструкций. Качество не возникает в процессе контроля, оно должно быть произведено. Даже широкий и максимально эффективный неразрушающий контроль не улучшает качество сварки.

Общепризнанно, что существенное повышение качества продукции может быть достигнуто за счет внедрения системы управления качеством и независимой сертификации производства. В настоящее время многие заводы-изготовители сварных конструкций, стремясь доказать заказчикам свою конкурентоспособность, ввели системы менеджмента качества в соответствии с международным стандартом ISO 9001:2000.

ISO 9001:2000, более известный как ГОСТ Р ИСО 9001:2000 - Российский аналог международных стандартов менеджмента качества. Ключевое понятие, используемое в стандартах как и ИСО, так и ISO - "Система менеджмента (управления) качества" (СМК). Особенностью стандартов является то, что они предъявляют требования не к качеству продукции напрямую, а к системе организации управления производством, которое призвано обеспечивать предсказуемый и стабильный уровень качества продукции.

Требования к продукции могут быть установлены потребителями или организацией, исходя из предполагаемых запросов потребителей или требований регламентов. Требования к продукции и в ряде случаев к связанным с ней процессам могут содержаться, например, в технических условиях, стандартах на продукцию, стандартах на процессы, контрактных соглашениях и регламентах.

С точки зрения стандартов серии ИСО 9000 качественной считается та продукция, которая удовлетворяет как специфицированным (прописанным), так и предполагаемым (не прописанным) ожиданиям клиента.

Разработка и внедрение на предприятии системы менеджмента качества, соответствующей требованиям стандартов ISO серии 9000 версии 2000 года, позволяют продемонстрировать по-

⁴ ISO 9001:2000 Системы менеджмента качества. Требования.



требителю стабильность высокого качества выпускаемой продукции и предоставляемых услуг.

Применительно к сварочному производству необходимо обратить внимание на то, что в стандарте ISO 9000:20005, включающем определения терминов, утверждается, что «процесс, в котором соответствие конечной продукции не поддается простой проверке обычными методами, называют специальным процессом». Поскольку надлежащее выполнение специальных процессов в большинстве случаев не может быть проконтролировано на готовом изделии вообще или невыгодно с экономической точки зрения, то возникает необходимость в точном определении и тщательном контроле параметров качества. В соответствии с такой трактовкой сварка относится к числу специальных процессов.

Сварочные процессы оказывают решающее влияние на издержки производства и на качество изделия. Поэтому важно обеспечивать исполнение этих процессов самым эффективным способом и предусматривать на протяжении всего процесса соответствующий контроль соблюдения документированных технологических инструкций для подтверждения выполнения установленных требований к технологическому процессу.

В международной практике при сертификации продукции по ISO 9000, в том числе той продукции, функциональные и эксплуатационные свойства которой существенно определяются качеством сварных соединений, обязательно применяется серия стандартов

ISO 3834:2005 «Требования к качеству сварки плавлением металлических материалов». Этот комплекс в совокупности со стандартами ISO 96066 (EN 287) и ISO 15607:20037 устанавливает требования к различным аспектам производства сварных конструкций, включая требования к персоналу сварочного производства, сварочным материалам, оборудованию, технологиям и др.

ISO 3834 не заменяет ISO 9001:2000, но он может быть полезным инструментом, если производителем применяется ISO 9001:2000.

Качество не может быть привнесено в изделие испытанием, изделие должно быть качественно изготовлено. Даже самое

⁵ ISO 9000:2000 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

⁶ ISO 9606 Qualification test of welders - Fusion welding (Квалификационные испытания сварщиков – Сварка плавлением).

⁷ ISO 15607:2003 Спецификация и квалификация процедур сварки металлических материалов. Общие правила.



Оборудование и технологии сварочного производства

обширное и высокотехнологичное неразрушающее испытание не улучшает качество сварных швов.

Для изделий, у которых не должно быть серьезных проблем при изготовлении и при использовании, необходимо предусматривать контроль, начиная от фазы конструирования через выбор материала вплоть до изготовления и последующего испытания. Например, плохое конструирование может вызывать серьезные и чреватые издержками затруднения в цехе, на стройплощадке или во время использования. Ошибочный выбор материала может привести к проблемам, например, к трещинам в сварных соединениях.

Чтобы обеспечить разумное и успешное изготовление, менеджмент должен выяснить источники возможных затруднений и вводить соответствующие процедуры для их контроля.

Цель применения стандартов серии ISO 3834 заключалась в следующем:

- составление требований к уровню качества сварочного производства как в заводских условиях, так и в монтажных;
- описание соответствующих требований к производителям, использующим сварочные процессы в производстве;
- обеспечение возможности применения однотипных подходов ко всем видам конструкций в соответствии с дифференцированными требованиями;
- предоставление инструкций с целью описания производственной базы для изготовления сварных конструкций определенного качества;
- подготовка требований к поставкам и контрактам на продукцию;
- описание сварочных требований в рамках системы управления качеством для руководства при изготовлении.

В европейских странах разработка системы управления качеством в сварочном производстве ведется, начиная приблизительно с 1974 года. Тенденция к глобализации мировой экономики ставит во главу угла развития национальных экономик обеспечение доверия к партнеру, что стимулировало стремление производителей продукции различных стран следовать единым международным правилам и требованиям международных систем обеспечения качества продукции.

Россия не стоит в стороне от мировых тенденций



вития промышленности. В настоящее время многие предприятия, принимающие активное участие в международных проектах, стремятся пройти сертификацию в соответствии с международными стандартами, в том числе с учетом систем сертификации в области сварочного производства. Наличие сертифицированных систем качества создает конкурентные преимущества и сулит экономические выгоды.

2.2. Сертификация сварочного производства в соответствии с международным стандартом ISO 3834

Стандарт ISO 3834 состоит из следующих пяти частей:

- ISO 3834-1 - часть 1. Критерии для выбора соответствующего уровня требований к качеству;
- ISO 3834-2 - часть 2. Обширные требования к качеству;
- ISO 3834-3 - часть 3. Стандартные требования к качеству;
- ISO 3834-4 - часть 4. Элементарные требования к качеству;
- ISO 3834-5 - часть 5. Документы, требованиям которых необходимо удовлетворять для того, чтобы подтвердить соответствие требованиям норм ISO 3834-2, ISO 3834-3 или ISO 3834-4

Как видно из наименования частей при использовании данного стандарта, сварочно-технические требования к качеству могут быть выбраны таким образом, чтобы они соответствовали виду сварных конструкций. Однако, как отмечается в стандарте, они ни в коем случае не представляют собой различные требования к качеству, **они отличаются лишь по степени подтверждения и документирования контролируемых параметров производства.**

Предполагается, что часть 2 применима к конструкциям, разрушение швов в которых может привести к разрушению конструкции или когда последствия разрушения невозможно проконтролировать.

Часть 3 – к конструкциям, разрушение швов в которых серьезно ограничивает использование конструкции по назначению или к конструкциям, разрушение которых оказывает незначительное влияние на безопасность людей и изделий.

Часть 4 – к конструкциям, разрушение швов в которых не оказывает серьезного влияния на использование конструкции по назначению или к конструкциям, разрушение которых не оказывает никакого влияния на безопасность людей и



изделий.

Приведенные соображения носят рекомендательный характер. Выбор той либо иной части стандарта ISO 3834 для выполнения процедур сертификации определяет заказчик сварной конструкции, а не ее изготовитель. При этом помимо соображения безопасности эксплуатации принимают во внимание условия эксплуатации, а также экономические соображения, поскольку повышенные гарантий качества увеличивают стоимость изготовления. Например, гарантий качества при производстве сварных конструкций опасных технических устройств, на которые распространяются правила Ростехнадзора России, должна подтверждаться сертификацией в соответствии с ISO 3834-2. Для предприятий, выпускающих сварные баки для хранения поливной воды, например, достаточно пройти сертификацию по ISO 3834-4. Однако, если предприятие проходит сертификацию по EN 9001, то для сертификации сварочного производства рекомендуется применять требования ISO 3834-2. Сертификация должна подтвердить возможность предприятия выполнять ряд требований по организации и управлению сварочным производством.

Часть 5 появилась в версии ISO 3834 2005 года. Она конкретизирует требования, которым должны соответствовать элементы сварочного производства при проведении сертификации. Это важное дополнение, позволяющее установить единство требований и, следовательно, обеспечить большее доверие потребителя к производителю. Важно отметить, что данная часть допускает применение для оценки других документов, например, национальных стандартов.

Производитель, который добивается соответствия требованиям к качеству ISO 3834-2 или ISO 3834-4, должен руководствоваться документами, указанными в ISO 3834-5, или использовать другие документы, которые содержат равноценные технические условия, если на них указывается в стандарте на продукт для элементов конструкций, изготавливаемых производителем.

Производитель несет ответственность за подтверждение равноценных технических условий, если используются другие документы, отличные от регламентированных в ISO 3834-5. При этом документы, которые были использованы производителем, должны быть однозначно определены.

Ключевые позиции сертификации по ISO 3834 показаны на рис.2.1. Вместе с тем процедура сертификации предполагает проверку и документальное подтверждение 22 показателей, охватывающих весь цикл производства сварных конструкций



Оборудование и технологии сварочного производства

(табл.2.1).



Рис.2.1. Ключевые позиции сертификации по ISO 3834

Таблица 2.1

Дифференцированный подход к выбору схемы сертификации в зависимости от требования к сварным конструкциям

№	Элемент	ISO 3834-2	ISO 3834-3	ISO 3834-4
1	2	3	4	5
1	Контроль требований (Перепроверка условий договора и особенностей конструкции)	контроль требуется		
		требуется документация	может требоваться документация	документация не требуется
2	Технический контроль	контроль/испытание требуется		
		требуется документация	может потребоваться документация	документация не требуется



Оборудование и технологии сварочного производства

№	Элемент	ISO 3834-2	ISO 3834-3	ISO 3834-4
1	2	3	4	5
3	Субподряд	Рассматривается как производитель для специального продукта, услуг и/или деятельности, которые передаются в субподряд. Независимо от этого конечную ответственность за качество несет производитель.		
4	Сварщик и оператор	испытание требуется		
5	Персонал, надзирающий за сваркой	требуется		нет специального требования
6	Персонал, занимающийся надзором/контролем и испытаниями	требуется квалификация		
7	Производственное и испытательное оборудование	подходит и доступно, когда требуется для подготовки, выполнения процесса, испытания/контроля, транспортировки и подъема в сочетании с устройствами безопасности и с защитной одеждой		
8	Техническое обслуживание оборудования	необходимо, когда требуется, заранее подготавливать, содержать в исправности и достигать комфортности продукта		нет специального требования
		требуется документированные планы и записи	рекомендуются записи	
9	Описание оборудования	перечень требуется		нет специального требования
10	Планирование производства	требуется		нет специального требования
		требуется документированные планы и записи	рекомендуются документированные планы и записи	



Оборудование и технологии сварочного производства

№	Элемент	ISO 3834-2	ISO 3834-3	ISO 3834-4
1	2	3	4	5
11	Инструкции по сварке	требуется		нет специального требования
12	Квалификация сварочной процедуры	требуется		нет специального требования
13	Контроль партии (изделий)	если требуется	нет специального требования	
14	Хранение сварочных присадок и манипулирование ими	требуется процедура, которая соответствует рекомендациям поставщиков		в соответствии с рекомендациями поставщиков
15	Хранение основного металла	требуется защита от влияния окружающей среды; маркировка должна при хранении сохраниться		нет специального требования
16	Термообработка после сварки	подтверждение того, что требования стандарта на продукт или спецификаций полностью выполнены		нет специального требования
		требуется процедура, запись и прослеживаемость записи для продукта	требуется процедура и записи	
17	Надзор и испытание до сварки, во время и после нее	требуется		если требуется
18	Недостаточное соответствие и корректирующие меры	должны быть введены меры по контролю требуются процедуры для ремонта и/или коррекции		должны быть приняты меры по контролю



Оборудование и технологии сварочного производства

№	Элемент	ISO 3834-2	ISO 3834-3	ISO 3834-4
1	2	3	4	5
19	Калибровка и валидирование измерительных приборов, контрольно-измерительных устройств и испытательного оборудования	требуется	если требуется	нет специального требования
20	Маркировка по время обработки	если требуется		нет специального требования
21	Прослеживаемость	если требуется		нет специального требования
22	Записи, касающиеся качества	если требуется		

Рассмотрим требования к сварочному производству при проведении сертификации более детально.

Перепроверка условий договора и особенностей конструкции

Производитель должен осуществлять проверку договорных требований, конструкционную документацию и параметров конструкции как указанных заказчиком, так и собственных, определенных им самим. Перед началом работ необходимо обеспечить получение всей, необходимой для выполнения задания, информации. Таким образом, перед началом работ имеется вся необходимая информация для выполнения технического задания.

Проведение перепроверки договора производителем служит подтверждением того, что он способен выполнить договор, что он имеет все необходимые средства для соблюдения сроков поставки и что документация ясна и однозначна.

К учитываемым договорным требованиям должны относиться, например:

- предписываемые рабочие стандарты вместе с возможными дополнительными требованиями;
- инструкции для способа сварки, неразрушающих испытаний и термической обработки;



Оборудование и технологии сварочного производства

- необходимость и режимы термической обработки после сварки;
- методы контроля качества, включая независимые испытательные организации;
- другие сварочные требования, например, испытание партий сварочных присадочных материалов; содержание феррита в металле шва, старение, содержание водорода;
- окружающие условия, которые имеют значение для сварки на монтаже, например, низкая температура окружающего воздуха или необходимость применения защитных приспособлений против опасного влияния климатических условий;
- положение при сварке, возможность контроля и последовательность выполнения сварных швов;
- требования к качеству поверхности и профилю сварного шва;
- размеры и детали подготовки кромок под сварку и готовые соединения;
- необходимость применения особых технологических приемов, например, для достижения полного проплавления без защиты корня шва при односторонней сварке;
- требования к качеству и приемке сварных швов;
- прочие требования.

Подтверждение возможностей субподрядной организации

Если производитель намеревается заключать договора с субподрядными организациями (например, на сварку отдельных сборочных единиц, контроль качества, разрушающие испытания, термообработку), он должен предоставить субподрядчику все имеющиеся предписания и требования. Субподрядчик должен разработать отчеты и документацию о своей деятельности так, как они предписываются производителем. Он должен работать под ответственность производителя и полностью выполнять соответствующие требования.

Информация, которая предоставляется производителем субподрядчику, должна содержать все соответствующие указания в соответствии с пунктом 1.

Сведения о персонале сварочного производства

Производитель должен иметь в достаточном количестве квалифицированный персонал для планирования, выполнения и контроля сварочного производства в соответствии с предписываемыми требованиями. Все сварщики и персонал, обслуживающий сварочное оборудование, должны пройти необходимые испытания (аттестацию)



Оборудование и технологии сварочного производства

по соответствующим частям ISO 9606 или ISO 14732⁸. Все удостоверения об испытаниях должны быть действующими до окончания срока выпуска изделия.

Производитель должен иметь квалифицированный персонал для руководства (надзора) сварочным производством в соответствии с требованиями ISO 14731⁹ для предоставления техническому персоналу необходимых распоряжений и указаний по сварке. Персонал, который отвечает за качество, должен иметь достаточные полномочия для проведения всех необходимых мероприятий. Обязанности, взаимосвязи и пределы ответственности такого персонала должны быть установлены однозначно.

Международный Институт сварки (IIW) разработал рекомендации по минимальным требованиям для обучения, испытания и сертификации персонала, занимающегося надзором за сваркой и контролем качества сварки.

Персонал, осуществляющий руководство производством сварочных работ, должен пройти подготовку по программам: «Международный инженер по сварке (IWE)»; «Международный технолог по сварке (IWT)» или «Международный специалист по сварке (IWS)», а персонал, занимающийся контролем выполнения сварки, пройти подготовку по программе «Международный инспектор по сварке (IWIP)».

В соответствии с ISO 3834-5:2005 считается, что персонал, занимающийся надзором за сваркой и контролем качества сварки, должен полностью удовлетворять требованиям, предъявляемым к IWE, IWT, IWS, IWIP или обладать соответствующими национальными квалификациями.

Сведения о персонале для контроля качества

Производитель должен иметь в достаточном количестве квалифицированный персонал для организации и выполнения контроля качества сварочного производства в соответствии с предписываемыми требованиями. Персонал для неразрушающих испытаний должен быть аттестован (признан) по ISO 9712¹⁰.

Технологическое оборудование и оборудование для испытаний

⁸ ISO 14732 – Персонал, осуществляющий сварку. Квалификационные испытания операторов сварки плавлением и наладчиков электрической контактной сварки для полностью механизированной и автоматической сварки металлических материалов.

⁹ ISO 14731 – Координация сварки. Задачи и обязанности.

¹⁰ ISO 9712 – Контроль неразрушающий. Квалификация и аттестация персонала.



Оборудование и технологии сварочного производства

Производитель должен иметь необходимое оборудование для сварки и выполнения всех сопутствующих операций (подготовки кромок и резки; подогрева и последующей термической обработки; сборки, транспортировки; разрушающих и неразрушающих испытаний).

Производитель должен разработать планировку размещения важнейшего оборудования, применяемого в сварочном производстве. Описание образования должно содержать сведения, позволяющие определить производственные мощности предприятия.

При подключении нового (или отремонтированного) оборудования должны проводиться необходимые испытания оборудования. Посредством испытаний нужно удостовериться в возможности эксплуатации оборудования и если это возможно, испытания должны проводиться в соответствии со стандартами. Отчеты о таких испытаниях должны храниться.

Производитель должен иметь доказуемые планы технического обслуживания оборудования. Эти планы обеспечивают контроль технического обслуживания, чтобы следить за теми деталями оборудования, влияние которых приводится в соответствующих инструкциях по сварке. Планы могут ограничиваться деталями оборудования (наиболее значимыми), наиболее существенными для обеспечения качества сварной конструкции.

Описание технологического процесса

Производитель должен делать необходимые технологические маршрутные карты, содержащие как минимум:

- указания последовательности изготовления деталей, сборочных единиц и последующей окончательной сборки конструкции;
- определение отдельных необходимых процессов для изготовления конструкции;
- инструкции по сварке и родственным процессам;
- последовательность выполнения сварных швов, если это имеет значение;
- инструкции и календарный план для отдельных процессов;
- определение контроля качества и испытаний, включая независимую испытательную организацию;
- влияние окружающей среды, например, защита от ветра и дождя.

Производитель должен иметь инструкции по сварке и обеспечивать их правильное использование при производстве.

Сертификация сварочных процессов

Перед началом производства используемые производителем



Оборудование и технологии сварочного производства

технологии сварки должны быть сертифицированы (аттестованы) в соответствии с ISO 15607. Поскольку сварочные технологии занимают центральное место в системе обеспечения качества, их сертификация (аттестация) проводится как отдельная процедура, выполняемая до аттестации сварочного производства в целом. Принципы аттестации технологии сварки и процедура ее проведения будут рассмотрены ниже.

Инструкции по сварке

Непосредственно на рабочем месте должны использоваться инструкции по сварке. Инструкции используются также для инструктажа сварщиков на рабочем месте.

Складирование и обращение сварочных материалов и основного металла

Производитель должен разработать и внедрить порядок складирования, хранения и использования сварочных материалов так, чтобы исключить насыщение их влагой, окисление, повреждение и т.д. Способы хранения должны быть согласованы с поставщиком.

Складирование основного материала должно осуществляться так, чтобы на него не оказывали вредное влияние условия хранения. Маркировка должна сохраняться в течение всего периода хранения. Производитель должен составить инструкцию по хранению основного металла.

Термообработка после сварки

Производитель несет ответственность за проведение термической обработки. Способ термообработки и режимы должны соответствовать технологической документации. Отчет о термообработке должен быть составлен во время проведения термической обработки. В отчете должно быть зафиксировано, что соответствующие предписания по термической обработке соблюдались.

Документирование

Производитель должен разработать способ контроля соответствующей документации по качеству, например, указания по сварке, отчеты об испытании способа сварки, свидетельства об испытании сварки.

Контроль качества и испытания сварных соединений

Контроль качества и испытания должны быть запланированы в необходимые моменты процесса изготовления для обеспечения соответствия с требованиями договора. Момент проведения и частота такого контроля качества и/или испытаний зависят от вида сварки и от рода конструкции. Производитель может проводить дополнительные испытания без ограничений. Доклад о подобных испытаниях не требуется.

Должны быть разработа- ны процедуры контроля изготов-



Оборудование и технологии сварочного производства

ления сварных конструкций:

- перед началом сварки, например, наличие удостоверений об аттестации сварщиков, соответствие технологических инструкций требованиям, подготовка кромок, порядок сборки и прихватки, пригодность рабочих условий для сварки, включая окружающую среду и др.;

- во время сварки: основные параметры сварки (например, сварочный ток, напряжение на дуге, скорость сварки), температура предварительного подогрева/температура промежуточных слоев при многопроходной сварке, последовательность выполнения операций сварки, контроль деформаций и др.;

- после сварки посредством: внешнего осмотра неразрушающих и/или разрушающих испытаний; оценки результатов и отчетов об обработке после сварки.

Должны предусматриваться необходимые мероприятия, дающие подходящее положение сварной конструкции при контроле качества и испытаниях, например, с помощью обозначений на отдельных частях или на сопутствующих картах.

Выявление несоответствий и мероприятия по их устранению

Должны предусматриваться мероприятия по выявлению не соответствия требованиям и их устранению для того, чтобы предотвратить их повторение. Если ремонт выполняется производителем, на всех рабочих местах должно быть все необходимое для его проведения. Все отремонтированные узлы должны подвергаться повторному контролю в соответствии с первоначальными требованиями. Кроме того, должны быть предусмотрены меры, направленные на устранение факторов, неблагоприятно влияющих на качество сварных конструкций, и немедленное внесение корректив технологического процесса.

Калибровка систем измерения и управления

Производитель является ответственным за соответствующую калибровку оборудования для контроля качества, измерений и испытаний. Все оборудование, служащее для определения качества сварных конструкций, должно соответственно контролироваться и подвергаться калибровке через предписываемые промежутки времени.

Подтверждение выполнения маршрутной технологии

Система документации, обеспечивающая маршрутную технологию производства должна, если необходимо, содержать:

- планы производства;
- сопроводительные карты;
- отчеты о расположении сварных швов в конструкции;



Оборудование и технологии сварочного производства

- обозначение сварных швов, штампов, маркировочных знаков и т.д.;
- маршрутные карты (для механизированных и автоматизированных сварочных установок, включая сварщика и обслуживающий персонал) для предписанных сварных швов;
- испытание сварщиков и аттестация технологии сварки;
- неразрушающие испытания и персонал;
- сварочные присадки, например, вид, номер партии или серии;
- состояние ремонта.

Отчеты о качестве

Отчеты о качестве должны, если необходимо, содержать соответствующие требования:

- отчет о перепроверке договора/конструкции;
- документы на материалы;
- документы на сварочные присадки;
- инструкции по сварке;
- отчеты о признании инструкций по сварке;
- удостоверение об аттестации для сварщика и обслуживающего персонала;
- удостоверение об аттестации персонала для неразрушающих испытаний;
- отчеты о термической обработке и предписаниях метода;
- отчеты о разрушающих и неразрушающих испытаниях;
- отчеты о несоответствии размеров;
- отчеты о ремонте и другие отчеты о несоответствиях.

Отчеты о качестве должны храниться при отсутствии других предписанных требований минимум пять лет.

Процедуры проведения сертификации предполагают документальное подтверждение перечисленных выше элементов сварочного производства. При этом вся работа по составлению подтверждающих документов и доказательству их исполнения ложится на предприятие-производитель сварочных работ. В функции органа по сертификации входит проверка наличия соответствующих документов и подтверждения их использования.

При использовании схемы сертификации по ISO 3834-3 и ISO 3834-4 число параметров, определяющих требования к сварочному производству, сокращается (табл.2.1). Таким образом, стандарт ISO 3834 позволяет дифференцировано подходить к выбору схемы сертификации в зависимости от требования к сварным конструкциям – от полностью документированного контроля до подтверждения пригодности производства и наличия информации о нем. Тем не



Оборудование и технологии сварочного производства

менее он упорядочивает систему требований к сварочному производству на различных этапах производственного цикла и делает прозрачной систему управления качеством.

Следует обратить внимание, что стандарт ISO 3834 составлен так, что он:

- не зависит от способа изготовления сварной конструкции;
- устанавливает требования к качеству сварки как для заводских условий, так и для монтажных;
- содержит указания для описания способности изготовителя выпускать сварные конструкции, соответствующие требованиям: договора между причастными сторонами, рабочим стандартам или ведомственным требованиям;
- устанавливает гибкие рамки для аттестации сварочного производства.

2.3. Общие принципы аттестации сварочных технологий

Сертификация сварочных технологий в подавляющем большинстве случаев преследует цель подтвердить тот факт, что предприятие-изготовитель обладает организационными и техническими возможностями применения требуемой сварочной технологии, а сварные соединения, выполненные по данной технологии, соответствуют сформулированным требованиям к качеству.

Стремление к обеспечению более высоких эксплуатационных характеристик сварных конструкций, снижению трудоемкости и производственных издержек постоянно побуждает технологов и конструкторов к применению новых материалов, новых сварочных процессов, к разработке и освоению новых технологий. Естественно, что без экспериментальной проверки новых технологических решений и возможности промышленного освоения их не может быть и речи о применении новых материалов и технологий при изготовлении, монтаже и ремонте оборудования и технических устройств.

Отсюда следует, что аттестация технологии выполняет две функции: подтвердить принципиальную возможность применения конкретной технологии сварки и подтвердить способность конкретного предприятия практически использовать эту технологию.

В связи с этим выделяют два типа аттестации – исследовательскую и производственную.

В зарубежных системах сертификации нет четкого различия, но, как правило, преследуется вторая цель – готовность предприятия выполнить сварочный процесс в соответствии с предписанной документацией и получить сварные соединения, соответствующие задан-



ным требованиям качества.

Проверка сварочных технологий на соответствие результатов ее применения требованиям качества широко распространена в мировой практике, но выполняется она различными способами, либо в виде исследования на стадии ее разработки, либо в виде сварки допускового стыка, либо в виде процедуры независимой сертификации.

В России и промышленно развитых странах Запада существуют нормативные документы, регламентирующие процедуру сертификации сварочных технологий либо применительно к конкретной отрасли, либо на межотраслевом уровне.

Перечень наиболее распространенных нормативных документов приведены ниже:

- Germanischer Lloyd – Германский Ллойд. Правила классификации и постройки. Материалы и техника сварки. Часть 3 – Сварка;
- API 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities – Сварка трубопроводов и их компонентов;
- AWS D1.1, Structural Welding Code – Строительные металлические конструкции. Код Американского общества сварщиков;
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX (Welding and Brazing Qualifications) – Нормы оценки процедур сварки и пайки для котлов и сосудов, работающих под давлением, Американского общества инженеров – механиков;
- EN 288 Specification and approval of welding procedures for metallic materials – Европейские нормы «Технические условия и аттестация процедур сварки металлических материалов»;
- ISO 15607 Требование и квалификация сварочных процедур для металлических материалов – Общие правила.
- РД 03-615-03 Порядок применения сварочных технологий при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов;
- РД 153-006-02 Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов.

Если исключить отраслевую направленность некоторых документов, то все они предписывают схожие процедуры. На основании рассмотрения представленной к сертификации технологии сварки выбирают конструкцию контрольного сварного соединения (КСС), составляют карту технологического процесса сварки КСС, осуществляют сварку и испытания КСС. Затем, пользуясь разработанными рекомендациями, назначают область распространения сертифицированной технологии. В связи с этим рассмотрим более подробно про-



Оборудование и технологии сварочного производства

цедуры, изложенные в стандарте EN 288, поскольку он лежит в основе многих национальных и отраслевых документов и именно на его основе в настоящее время разрабатывается система международных стандартов сертификации сварочных технологий.

EN 288 – Технические условия и подтверждение процедур сварки металлических материалов; представляет собой серию стандартов, состоящую из 12 частей:

часть 1 Общие правила сварки плавлением;

часть 2 Технологическая карта для дуговой сварки;

часть 3 Испытание сварочной технологии для дуговой сварки сталей;

часть 4 Испытание сварочной технологии для дуговой сварки алюминиевых материалов;

часть 5 Признание посредством применения признанных присадочных материалов для дуговой сварки;

часть 6 Признание на основании предыдущего опыта.

часть 7 Признание посредством использования нормированной технологии сварки;

часть 8 Признание испытанием сварки перед началом производства;

часть 9 Контроль технологии сварки трубопроводов на стройке;

часть 10 Технологическая карта для электронно-лучевой сварки;

часть 11 Технологическая карта для лазерной сварки;

часть 12 Испытание сварочной технологии для дуговой сварки чугуна.

Часть 1 устанавливает область применения стандартов серии EN 288 и общие правила признания (аттестации, сертификации) технологии сварки металлических материалов. В частности:

- норма предполагает, что при аттестации технологии используются аттестованные сварщики;

- норма применяется, если признание технологии сварки требуется договором, нормами и сводом технических правил или законодательными требованиями.

Здесь же даны принятые обозначения и термины:

- Технологическая карта сварки (Welding procedure specification) – документ, в который внесены все требуемые величины, оказывающие влияние на технологию, с целью гарантировать повторяемость процесса;

- Предварительная технологическая карта сварки (pWPS) – исходная технологическая карта сварки, которая с точки зрения про-



Оборудование и технологии сварочного производства

изготовителя считается достаточной для выполнения сварного соединения, но еще не является признанной (сертифицированной). Сварка образцов для признания технологической карты сварки проводится на основании предварительной технологической карты сварки (pWPS);

- Признанная технологическая карта сварки (WPS) – технологическая карта сварки, которая признана в соответствие с EN 288 аккредитованной, независимой контрольной организацией посредством успешных испытаний технологии. Благодаря этому гарантируется повторяемость технологии сварки.

Отчет о признании технологии сварки (WPAR) – отчет, содержащий все существенные данные по сварке контрольного образца, которые необходимы для признания технологии сварки, и все результаты испытаний контрольного образца.

Параметры, оказывающие влияние на процесс сварки. Различают главные параметры, которые оказывают влияние на механические и/или металлургические свойства сварного соединения (например: параметры сварки, термическая обработка, погонная энергия), и дополнительные, которые не оказывают влияния на механические и/или металлургические свойства сварного шва (например: способ подготовки сварных кромок, защита сварочной ванны).

Таким образом, процедуру аттестации, согласно EN 288, можно представить в виде схемы (рис.2.2).

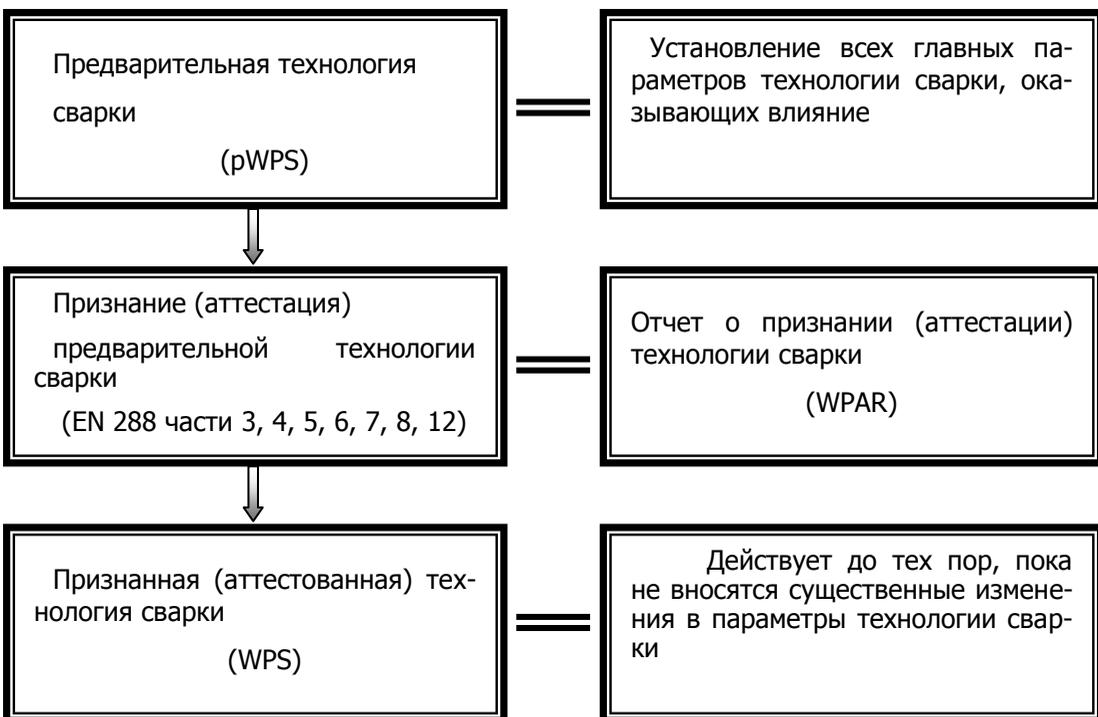


Рис. 2.2. Схема аттестации технологии сварки согласно EN 288

Предусмотрено пять видов признания (аттестации) технологии сварки:

1. **Признание** (аттестация) технологии сварки и связанных с этим WPS **посредством проведения испытания** контрольных сварных соединений, выполненных по заявленной технологии сварки. Процедура аттестации подробно изложена в частях 3, 4 и 8 EN 288, соответственно для сварки стальных, алюминиевых и чугунных конструкций. Даны рекомендации в отношении учета главных и дополнительных параметров технологии сварки, выбора размеров и формы контрольных сварных соединений, норм качества, а также рекомендации по установлению области распространения. Следует обратить внимание, что в данном случае учитываются только металлургические и термические факторы технологического процесса.



2. Признание по предыдущему опыту выполнения сварочных работ (часть 6).

Сварочная технология (WPS) может быть признана (аттестована) у производителя сварочных работ, если он может доказать достоверной документацией, что он уже ранее успешно осуществлял сварку соответствующих соединений и материалов. Область действия признанной WPS ограничивается хорошо изученными и вошедшими в нормативную документацию материалами, процессами сварки, а также присадочными материалами и параметрами сварки, которые можно подтвердить достаточным опытом. Достаточный опыт считается в том случае, если предоставляется документация о разрушающем и/или неразрушающем контроле и документация о проведенных сварочных работах минимум за один год. Или действует доказательство пригодности сварных соединений, находящихся 5 лет в эксплуатации.

3. Признание посредством использования нормированной (типовой, ранее аттестованной) технологии сварки (часть 7).

Нормированная (типовая) технология сварки разрабатывается и признается (аттестуется) независимой контролирующей организацией аналогично части 3 EN 288.

Разработка нормированной (типовой) технологии сварки требует достаточной тщательности, так как она предназначена для каждого производителя независимо от разработчика. Этот вид признания является привлекательным, так как он дает возможность снизить затраты, которые связаны с признанием в общем виде, но нет гарантии, что каждый производитель сварочных работ будет способен воспроизвести эту технологию. В настоящее время этот вид применяется в очень ограниченном объеме.

4. Признание (аттестация) путем использования разрешенных присадочных материалов (часть 5).

Для некоторых конструкционных материалов допустимо изменение погонной энергии в широких пределах без существенного ухудшения свойств околосшовной зоны.

Для таких материалов, сварочная технология может быть аттестована при условии, что сварочные материалы были разрешены к применению ранее, а режимы сварки не выходят за допустимые пределы. Аттестующий орган должен определить область распространения для всех существенных переменных в отношении свароч-



ных материалов.

5. Признание (аттестация) путем испытания перед началом производства (часть 8).

Этот вид аттестации применяется в том случае, если нормированные контрольные образцы не соответствуют испытываемому соединению. В таких случаях изготавливают один или более контрольный образец, чтобы проконтролировать требуемые условия проведения сварки по все значительным пунктам, например, влияние размеров, возможное коробление, влияние скорости охлаждения и т.д. Контроль и надзор проводится в соответствии с этой нормой в производственных условиях перед началом производства.

Применяемые при этом rWPS можно рассматривать как признанные WPS, если в результате сварки подтверждено выполнение технических требований, предъявляемых к сварному соединению.

Все существующие процедуры сертификации сварочных технологий предполагают признание технологии сварки (WPS) **посредством проведения испытания** контрольного сварного соединения (КСС) изготовленного с соблюдением предписанного технологического процесса с целью определить соответствие КСС заданным нормам качества.



Оборудование и технологии сварочного производства

Общая схема процедуры проведения аттестации сварочных технологий представлена на рис.2.3. Все представленные к аттестации технологии должны быть сгруппированы по признаку однотипности с тем, чтобы выбрать контрольное сварное соединение (КСС), отражающее основные технологические признаки каждой группы однотипных технологий.

Критерии однотипности сформулированы в нормативных документах, регламентирующих процедуры сертификационных испытаний. Затем в соответствии с тем же нормативными документами назначают размеры и форму контрольного сварного соединения (КСС).

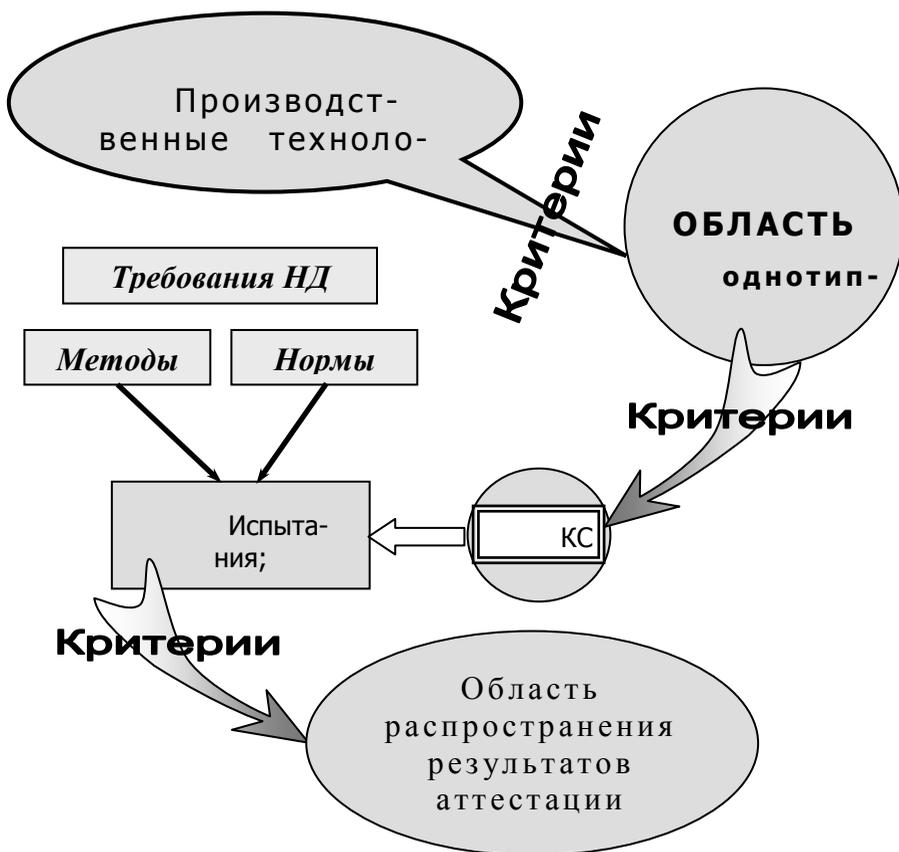


Рис. 2.3. Схема производственной аттестации технологии сварки

В качестве КСС выбирают, обычно простой образец в виде труба + труба, лист + лист, лист + труба. Как правило, размеры пла-



Оборудование и технологии сварочного производства

стин или отрезков труб, должна быть такими, чтобы условия протекания термомеханических процессов в районе шва соответствовали реальным условиям при сварке конструкции. Сварку КСС выполняет аттестованный сварщик в соответствии с картой технологического процесса аттестуемой технологии сварки (WPS). Качество контрольного сварного соединения оценивают в соответствии с требованиями нормативной документации для данной группы конструкций. При положительных результатах сварочная технология считается аттестованной (признанной) и предприятие получает документ об аттестации заявленной технологии с указанием области ее распространения.

При оценке результатов аттестации технологии возникает вопрос: насколько параметры технологического процесса и конструктивные размеры реального изделия могут отличаться от контрольного сварного соединения с тем, чтобы результаты аттестации могли быть распространены на сварку реального объекта?

Поэтому при разработке процедур сертификации приходится решать проблему определения диапазона допустимого изменения параметров технологического процесса, в пределах которого эти изменения не приводят к нарушению норм качества, т.е. проблему обоснования области распространения сертификации. Обоснование границ области распространения позволяет результаты, полученные при сертификации, распространить на группу идентичных технологических процессов.

Очевидно, что стратегия формирования критериев идентичности сварочных технологий должна удовлетворять двум противоречивым требованиям. Во-первых, исходя из экономических соображений, необходимо стремиться, чтобы область распространения аттестованной технологии допускала по возможности более широкий диапазон изменения технологических параметров. Во-вторых, исходя из технических соображений, необходимо стремиться, чтобы любые изменения отдельных параметров или их сочетания в пределах области распространения не приводил к снижению качества сварного соединения за пределы требований нормативных документов.

Для формирования области распространения необходимо выделить классификационные признаки технологического процесса, т.е. перечислить основные конструктивные и технологические параметры, изменение которых может повлиять на качество сварной конструкции. К ним можно отнести, например, способ сварки, группу свариваемых и присадочных материалов, тип подготовки кромок под сварку, погонная энергия, необходимость подогрева или термической обработки и др.



Оборудование и технологии сварочного производства

Очевидно, что для различных способов сварки набор классификационных признаков может быть различен. Некоторые признаки могут быть представлены на уровне численных характеристик (толщина или диаметр детали, погонная энергия), другие поддаются только вербальному описанию (положение детали при сварке, способ сварки, тип покрытия электрода и др.). Определить границы области распространения аттестованной технологии для второй группы признаков значительно сложнее, чем для первой. Часть классификационных признаков не имеет области распространения, их изменение требует проведения новых аттестационных испытаний. Например, результаты аттестации технологии автоматической сварки в защитных газах не могут быть распространены на механизированную, поскольку степень автоматизации процесса влияет на результаты.

Процедуры сертификации сварочных технологий начали разрабатывать относительно недавно, около 20 лет назад, и, к сожалению, научно обоснованный подход к определению области распространения результатов аттестации в настоящее время еще не выработан. Основой для назначения границ области распространения является экспертная оценка, поэтому эти границы периодически пересматриваются.

В табл. 2.2 приведен примерный перечень квалификационных признаков для наиболее широко распространенных способов сварки согласно РД 03-615-03, принятым в России. Для первых 7 признаков могут быть найдена область, в пределах которой изменение характеристик параметров технологического процесса может не оказывать существенного влияния на показатели качества сварного соединения. Остальные параметры не имеют области распространения, и их изменение предопределяет проведения новой аттестации.

Следует обратить внимание, что параметры, имеющие область распространения, относятся к конструктивным особенностям изделия, но их количественные характеристики могут оказывать влияние на технологию сварки. В частности, толщина и диаметр детали в месте сварки может влиять на характер распределения тепла, скорость охлаждения металла шва и околошовной зоны.

Таблица 2.2
Основные параметры, определяющие аттестуемую технологию

№ п/п	Параметры	Способы сварки (наплавки)				
		Дуговая сварка	ЭШ	ЭЛ	Г	Дуговая наплавка
1	Основные материалы	+	+	+	+	+
2	Толщина	+	+	+	+	—
3	Радиус кривизны (диаметр)	+	—	—	+	+
4	Тип шва	+	+	+	—	—
5	Тип соединения	+	+	+	—	—
6	Вид соединения	+	—	+	—	—
7	Положение при сварке (наплавке)	+	—	+	+	+
8	Количество проходов	+	—	—	+	+
9	Вид и угол разделки кромок	+	—	+	+	—
10	Сварочные материалы	+	+	+	+	+
11	Необходимость подогрева	+	—	+	—	+
12	Межслойная температура	+	—	—	—	+
13	Необходимость термообработки	+	+	+	+	+
14	Количество электродов или вид плавящегося мундштука	+	+	—	—	+
15	Применение защитных и активирующих флюсов	+	—	—	+	+
16	Применение импульсно-дугового процесса	+	—	—	—	+
17	Необходимость предварительной наплавки	+	—	—	—	+
18	Способ защиты ванны	+	—	—	—	+
19	Вид наплавки	—	—	—	—	+

Примечания:

ЭШ – электрошлаковая сварка; ЭЛ – электроннолучевая сварка; Г – газовая сварка. + – параметр принимают во внимание; — – параметр не принимают во внимание.

В качестве примера в табл. 2.3 – 2.6 приведены области распространения результатов аттестации по основным конструктивным параметрам сварного соединения, рекомендуемые в EN 288-3. Например, если при аттестации технологии толщина КСС составляла 8 мм, то в соответствии с табл.2.3, результаты аттестации распространяются на технологию сварки металла толщиной от 3 до 16 мм при условии, что сварку выполняют за несколько проходов с каждой стороны или от 6 до 9 мм при однопроходной сварке..



Таблица 2.3
Критерии формирования области распространения
по толщине свариваемого металла (EN 288-3)

Толщина контрольно-сварного соединения [мм]	Область распространения	
	Многопроходная сварка	Однопроходная сварка (однопроходная с двух сторон)
$t < 3$	$t - 2 t$	0,8 t - 1,1 t
$3 < t \leq 12$	$3 - 2 t$	
$12 < t \leq 100$	$0,5 t - 2 t$ (max. 150)	
$t > 100$	$0,5 t - 1,5 t$	—

Примечание: Для газовой сварке область распространения от 0,75 t до 1,5 t. Многопроходная сварка не распространяется на однопроходную и наоборот.

Таблица 2.4
Критерии формирования области распространения
по размеру катета шва (EN 288-3)

Катет (K) углового шва контрольного сварного соединения [мм]	Область распространения для катета шва
$K < 10$	$0,75 \geq K \leq 1,5 K$
$K \geq 10$	$K \geq 10$

Таблица 2.5
Критерии формирования области распространения
по диаметру сварного соединения труб (EN 288-3)

Диаметр контрольного сварного соединения [мм]	Область распространения
$D < 168,3$	$0,5 D - 2 D$
$D \geq 168,3$	$\geq 0,5 D$ и пластины

Примечание: Результаты аттестации технологии сварки пластин распространяются на технологию сварки труб с диаметром больше или равным 500мм



Таблица 2.6
Критерии области распространения в зависимости от способа формирования корня шва (EN 288-3)

Контрольное сварное соединение			Область распространения								
			СШ на пластинах				УШ на пластинах	СШ на трубах		УШ на трубах	
			ос сп	ос бп	дс зк	дс бз		ос сп;зк	ос бп;бз		
Стыковой шов на пластинах (СШ)	Сварка с одной стороны	На подкладке	ос сп	*	-	х	х	х	-	-	х
		Без подкладки	ос бп	х	*	х	х	х	-	-	х
	Сварка с двух сторон	С зачисткой	дс зк	-	-	*	х	х	-	-	х
		Без зачистки	дс бз	-	-	-	*	х	-	-	х
Стыковой шов на трубах (СШ)	Сварка с одной стороны	На подкладке	ос сп;зк	х	-	х	х	х	*	-	х
		Без подкладки	ос бп;бз	х	х	х	х	х	х	*	х
Угловой шов (УШ)	Пластина	-	-	-	-	-	*	-	-	-	х
	Труба	-	-	-	-	-	х	-	-	-	*

Примечание: ос – односторонняя сварка; дс – двусторонняя; бз – без зачистки корня шва; зк – с зачисткой; бп – без формирующей подкладки; сп – с подкладкой.

Известно, что технология сварки может существенно изменяться при изменении типа или марки конструкционного материала и в этом отношении необходимо установить границы области распространения. С этой целью различные марки конструкционного материала должны быть сгруппированы в зависимости от особенностей технологии их сварки. Например, в таблице 2.7 приведена разбивка конструкционных материалов (сталей и сплавов) на группы идентичных с позиции технологии сварки согласно EN 288-3.

Таблица 2.7
Группы однотипных конструкционных материалов

По EN 288	Признаки идентичности сталей
1	Стали с $\sigma_T \leq 360 \text{ N/mm}^2$ и с содержанием элементов не более C = 0.24 %, Si = 0.60 %, Mn = 1.70 %, Mo = 0.70 %, P and S = 0.045 %, других элементов каждого = 0.3 % (0.4 % для отливок), общее содержание всех других элементов = 0.8 % (1.0 % для отливок)
2	Нормализованная или термомеханически обработанная мелкозернистая сталь с минимальным пределом текучести $\sigma_T > 360 \text{ N/mm}^2$
3	Закаленная и отпущенная дисперсионно твердеющая сталь за исключением нержавеющей
4	Сталь с Cr max. 0.75 %, Mo max. 0.6 %, V max. 0.3 %
5	Сталь с Cr max. 10 %, Mo max. 1.2 %
6	CrMoV сталь с Cr max. 12.2 %, Mo max. 1.2 %, V max. 0.5 %
7	Стали, легированные никелем с Ni max. 10 %
8	Ферритно-мартенситные стали с 10.5 % - 30 % Cr
9	Аустенитные стали
10	Аустенитно-ферритные нержавеющие стали
11	Стали, не входящие в группы 1 – 10, содержащие $0.25 \leq C < 0.5 \%$

Следует отметить, что в мировой практике формирование границ области распространения результатов аттестации продолжают корректироваться. Например, в стандарте EN ISO 15614, который призван заменить EN 288-3, приведена таблица, расширяющая границы области распространения по некоторым параметрам.

Область распространения аттестованной технологии должна одновременно удовлетворять заданным критериям по всем параметрам заявленного технологического процесса и обеспечивать перспективные потребности предприятия – производителя.



ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ

В России аттестацию технологии принято подразделять на производственную и исследовательскую.

Основной целью производственной аттестации является подтверждение (доказательство) того, что данное, конкретное предприятие имеет техническую возможность, располагает необходимым техническим персоналом и оборудованием для выполнения сварки по известной, хорошо освоенной другими предприятиями технологии и обеспечить получение сварных соединений, отвечающих требованиям нормативной документации.

Исследовательскую аттестацию необходимо проводить при подготовке к применению новых технологий сварки с целью подтверждения того, что они обеспечивают количественные характеристики сварных соединений, металла шва и наплавленного металла, указанные в проектно-конструкторской документации на сварные конструкции. Она также может преследовать цель определения характеристик, необходимых для расчетов при проектировании технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах.

К подлежащим исследовательской аттестации технологиям относятся:

- технологии сварки и наплавки изделий из материалов новых марок;
- технологии сварки и наплавки с применением новых способов сварки или способов, не предусмотренных действующей нормативной документацией;
- сварки и наплавки с использованием сварочных материалов, не предусмотренных действующей нормативной документацией для выполнения конкретным способом сварки (наплавки) соответствующих сварных соединений.

при внесении изменений в существующие технологии сварки или наплавки, например, в части предварительного и сопутствующего подогрева, режимов сварки и термической обработки и др.

Основные особенности исследовательской аттестации заключаются в следующем:

- Основная цель – определить возможность получения сварных соединений с требуемыми служебными характеристиками и целесообразность применения предложенной технологии сварки.
- Исходные данные должны содержать подробное описание условий эксплуатации конструкции (температурный диапазон; характер нагружения; рабочую среду и др.) и требований к сварным со-



единениям.

- Процедура аттестации должна более широко рассматривать весь технологический процесс получения сварной конструкции, включая операции, сопутствующие сварочным.

- Конструкция, размеры и количество КСС должны адекватно отражать металлургические, термические, термомеханические факторы и конструктивные особенности выполнения сварного соединения в составе реальной конструкции и обеспечить возможность получения статистически достоверных характеристик сварного соединения, требуемых в проектной документации.

- Методы и объемы аттестационных испытаний (в том числе определение физико-механических свойств, испытаний на длительную прочность и пластичность, сопротивление хрупкому разрушению, циклическую прочность, коррозионную стойкость и др.) следует устанавливать на основании требований проектных и нормативных документов, в зависимости от предусматриваемой области применения технологии и специфических условий эксплуатации сварных соединений и наплавов.

- Контроль всеми методами (кроме измерительного) должен выполняться по всей протяженности каждого сварного соединений (площади наплавки). В случае, когда в заявленную область аттестации входят сварные конструкции, для которых нормы оценки качества установлены разными нормативными документами, применяются более жесткие нормы.

- Должна быть дана оценка сварочно-технологических свойств новых основных и сварочных материалов.

- Область распространения аттестации подлежит определению. С этой целью аттестационные испытания должны подтвердить соответствие результатов установленным требованиям во всем допустимом диапазоне изменения параметров аттестуемой технологии сварки. В противном случае область распространения должна быть ограничена параметрами технологии сварки контрольного сварного соединения.

- Результаты исследовательской аттестации должны быть представлены в виде научно-исследовательского отчета.

В отчете должны быть подробно изложены исходные данные для аттестации, подробное описание аттестуемой технологии с указанием конкретных конструктивных и технологических характеристик программа ее проведения, методика проведения испытаний со ссылкой на документы, регламентирующие процедуру контроля и требования к количественным характеристикам результатов, все результаты испытаний с результатами статистической обработки и заключе-



ние.

В заключении на основании полученных результатов аттестации технологии приводятся основные данные, характеризующие указанную технологию, в том числе:

- наименование и область применения аттестованной технологии сварки (включающую группы опасных технических устройств);
- основные отличительные признаки аттестуемой технологии;
- марка материалов свариваемых (наплавляемых) деталей (с указанием стандартов или технических условий), или группа марок конструкционных материалов, если есть обоснованное доказательство возможности распространения результатов аттестации;
 - допускаемый диапазон основных размеров (диаметр, толщина) свариваемых деталей;
 - марка (сочетание марок) сварочных материалов с указанием стандартов или технических условий;
 - допускаемые положения при сварке;
 - необходимость и режимы предварительного и сопутствующего подогрева;
 - рекомендуемые режимы сварки и возможный диапазон их изменения;
 - необходимость, вид и режимы термообработки сварных соединений и наплавов;
 - показатели и количественные характеристики выполненных по аттестуемой технологии сварных соединений, металла шва и наплавленного металла.

При исследовательской аттестации количество необходимых методов испытания значительно шире, поскольку требуется определить возможную область применения данной технологии. В некоторых случаях помимо испытания сварных соединений может потребоваться проведение ресурсных испытаний конструкций или их элементов. При исследовательской аттестации необходимо увеличить объем параллельных испытаний с тем, чтобы иметь статистически достоверные результаты. В большинстве случаев определяющим документом при выработке критериев качества является конструкторская документация, в которой сформулированы условия эксплуатации.



ОПЕРАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Заготовительные операции, приемы выполнения, оборудование

Заготовительное производство включает следующие операции: складирование; правка исходных заготовок; разметка; резка; подгибка кромок; гибка; очистка под сварку.

Складирование. При организации хранения исходных заготовок необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- обеспечить защиту металла от атмосферной коррозии, для чего складские помещения должны размещаться в закрытых помещениях, для временного хранения устанавливать навесы для защиты от атмосферных осадков. Особое внимание необходимо уделять сварочным материалам. Они должны храниться в отапливаемом помещении при температуре не ниже +15°C и влажности не выше +50%. Желательно хранить сварочные материалы в герметичных упаковках;
- размещать исходные заготовки на хранение с фиксацией точного адреса стеллажа и наименования исходной заготовки;
- обеспечить свободный доступ к стеллажам;
- оборудовать складские помещения грузоподъемными устройствами.

Правка исходных заготовок. В процессе транспортировки листового и профильного проката от действия случайных нагрузок возможны искривления формы.

Для листового проката:

- волнистость – это искривления листа по всей его ширине;
- бухтиноватость – местное выпучивание листа;
- серповидность (саблевидность) – искривления листа в плоскости.

Для профильного проката:

- скручивание;
- смалковка;
- размалковка.

Предельные допустимые в соответствии с СП 53-101-98 значения прогибов проката, используемого в металлических конструкциях, приведены в таблице 3.1.

Исправление дефектов листового и профильного проката



Оборудование и технологии сварочного производства

предусмотрено операцией правки. Правку проката в зависимости от профиля выполняют на листопрямильных или сортопрямильных машинах и на прессах в холодном состоянии. Допустима правка стали местным нагревом пламенем газовых горелок, при этом температура зоны нагрева не должна превышать 800 °С для горячекатаных и нормализованных сталей, а для термически улучшенных сталей – 700 °С.

Существующие способы правки предполагают использование схемы нагружения выправляемой заготовки изгибом (рис. 3.1) либо растяжением (рис. 3.2).

Таблица 3.1

Допустимые искривления листового и профильного проката

Профиль	Эскиз	Относительно нейтральной оси	Предельный допустимый прогиб, мм
Сталь листовая, универсальная, полосовая, квадрат		x – x y – y	$\frac{l^2}{400 h}$ $\frac{l^2}{800 b}$
Сталь угловая		x – x y – y	$\frac{l^2}{720 b_1}$ $\frac{l^2}{720 b_2}$
Гнуто-сварные профили		x – x y – y	$\frac{l^2}{400 h}$ $\frac{l^2}{400 b}$



Профиль	Эскиз	Относительно нейтральной оси	Предельный допустимый прогиб, мм
Трубы, круг		x - x y - y	$l^2 / 400 d$ $l^2 / 400 d$
Швеллеры		x - x y - y	$l^2 / 400 h$ $l^2 / 720 b$
Двутавры		x - x y - y	$l^2 / 400 h$ $l^2 / 400 b$
Примечание: l – длина отрезка элемента с прогибом одного знака.			

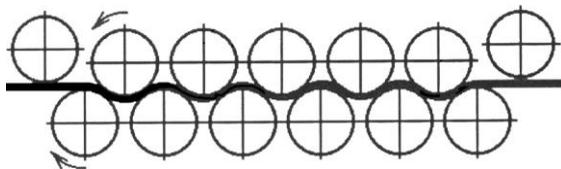


Рис 3.1. Правка изгибом на многовалковых машинах.

При правке волнистости листов толщиной от 0,5 до 50 мм изгибом широко используют многовалковые машины с количест-



вом валков от 5 до 21.

При прохождении в вальцах лист изгибается в пределах упругости в том случае, если в нем нет искривлений. Если лист имеет искривления, то он, проходя через валки, испытывает пластические деформации. Правка достигается в результате многократного изгиба при пропускании листов между верхним и нижним рядами валков, расположенных в шахматном порядке.

Чем больше толщина листа, тем меньше количество валков, и чем меньше толщина листа, тем меньше диаметр валка.

Качество правки зависит от количества валков, большее количество валков применяют для правки тонких листов и листов из материалов с высоким пределом текучести.

Различают машины с параллельными и непараллельными рядами валков.

В машинах первого типа, регулировкой валков одного ряда (по высоте) обеспечивается требуемый прогиб листа. Крайние валки дополнительно имеют индивидуальную регулировку для заведения листа в валки. Количество валков обычно бывает от 5 до 13.

Пяти- и семивалковые машины используют для правки листов большой толщины, а также для грубой правки листов средней толщины.

В машинах второго типа, ряды валков расположены под некоторым углом друг к другу с увеличением расстояния между рядами валков на выходе. Для заведения листа перед правильными валками устанавливают правильные ролики. Количество валков бывает 9 ÷ 17. Непараллельная установка валков обеспечивает постепенное уменьшение кривизны перегиба листов в валках. При этом в листе возникают дополнительные растягивающие напряжения, что повышает качество правки. Машины второго типа применяют для правки листов толщиной менее 8 мм.

На отечественных станках можно исправлять искривления листов толщиной до 50 мм и шириной до 3500 мм.

Не рекомендуется путем изгиба править малопластичные материалы, а также затруднена правка тонколистового проката.

Для осуществления процесса правки растяжением необходимо создать растягивающие напряжения в исправляемом сечении, превышающие предел текучести $\sigma \geq \sigma_{02}$. В качестве силовозбудителя используют гидропривод. Схема правки растяжением показана на рис 3.2. Преимущества правки по схеме растяжения заключаются в более высокой производительности по сравнению с правкой изгибом, в более высоком качестве правки, а так же в том, что этот способ



позволяет выправлять очень тонкие листы.

Способ правки растяжением не рекомендуется использовать для правки металла с соотношением $\sigma_{02}/\sigma_B > 0,8$, так как возникает опасность неконтролируемого развития пластических деформаций, а так же для правки листов толщиной более 1,5 мм, так как требуется силовозбудитель большой мощности.

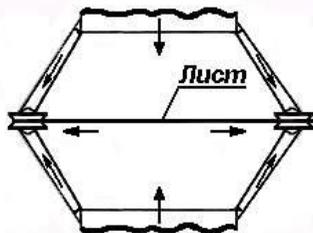


Рис. 3.2. Схема правки растяжением.

Для правки уголков и другого профильного проката используют сортоправильные (углоправильные) и машины (рис. 3.3).

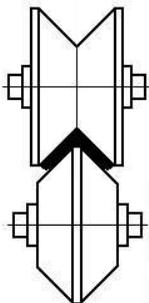


Рис.3.3. Схема правки на углоправильных машинах

Правка на углоправильных машинах осуществляется посредством многократных перегибов уголка между двумя рядами роликов, установленных в шахматном порядке также как на листоправильных машинах (рис.3.1).

Для одновременной правки уголка в обеих плоскостях профиль рабочего ручья ролика выполняют так, чтобы уголок располагался в роликах по диагонали, и опирался на каждый правильный ролик двумя полками. Одни и те же ролики можно применять для правки уголков нескольких размеров. Ролики выполняют сменными, что позволяет править на одной машине различные профили.

Правку листового металла толщиной более 50 мм, а также



профилей круглого сплошного сечения осуществляют под прессом путем локального изгиба искривленных участков под прессом (рис. 3.4).

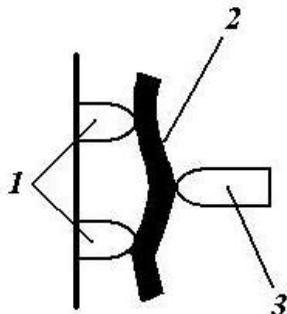


Рис. 3.4. Схема правки под прессом

1 - опорные колодки; 2 – искривленная заготовка; 3 – пуансон.

Правку, как правило, производят в холодном состоянии, ограничивая относительное остаточное удлинение наиболее деформированных волокон величиной 1 % или радиусом изгиба равным 50δ (δ – толщина листов). Если необходимо создать более значительные деформации, правку сталей производят в нагретом состоянии.

Серповидность не поддается исправлению обычными методами.

После правки прокат должен соответствовать следующим требованиям:

- Не иметь трещин и расслоений. Допускается наличие местных вмятин по толщине и ширине проката на глубину, не превышающую удвоенной величины минусового допуска для данного вида проката, предусмотренного соответствующим ГОСТ или ТУ, но во всех случаях не более 1 мм по толщине и 3 мм по габаритам сечения.

- Несовпадение плоскости сечений профильного проката не должно превышать соответствующих допусков, установленных ГОСТ или ТУ для данного вида проката.

- Предельные прогибы профильного проката по всей длине элемента не должны превышать $0,001l$, но не более 10 мм, а прогибы местного искривления – не более 1 мм на длине 1,0 м.

Разметка. Разметка – нанесение контура детали на поверхность исходной заготовки или нанесение линий базирования сопрягаемых деталей при сборке. Выполняется вручную с помо-



Оборудование и технологии сварочного производства

щью линейки, циркуля, чертилки, с последующим прокерниванием контурных линий для последующего закрепления изображения. Операция трудоемкая, ограничено поддается механизации и требует высокой квалификации разметчика.

Более производительным вариантом разметки является наметка. Выполняется по специально изготовленным шаблонам из тонколистового металла в масштабе 1:1 с размерами детали. Усложняет подготовку производства, требует дополнительных затрат на изготовление и хранение шаблонов.

Более производительным методом выполнения разметочных операций являются фотографический и фотопроекторный, обеспечивающие проецирование с фотографической пленки контура будущей детали на размечаемую поверхность с последующим закреплением изображения. Методы дорогостоящие, не позволяют получать высокую контрастность изображения, не находят в производстве широкого применения, хотя являются высокопроизводительными и автоматизированными.

При разметке необходимо учитывать припуски на механическую обработку деталей после резки и усадку от сварки в соответствии с рекомендациями, приведенными в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Рекомендуемые припуски при разметке деталей

Назначение припуска	Характеристика припуска	Размер припуска, мм
На ширину реза	При ручной кислородной резке листового проката для толщины стали, мм:	



Оборудование и технологии сварочного производства

Назначение припуска	Характеристика припуска	Размер припуска, мм
На ширину реза	5 – 25	4,0
	28 – 50	5,0
	50 – 100	6,0
	При машинной кислородной и пламенно-дуговой резке листового проката для толщины стали, мм:	
	5 – 25	3,0
	28 – 50	4,0
	50 – 100	5,0
	При ручной кислородной резке профильного проката	4,0
На фрезерование торцов	На каждый фрезеруемый торец	5,0
На строгание и фрезерование кромок	На каждую обрабатываемую кромку:	
	при резке на гильотинных ножницах и кислородной ручной резке	5,0
	при резке на газорезательных машинах	3,0
На усадку при сварке	Стыковые швы (усадка перпендикулярно стыку):	
	листовой прокат толщиной, мм:	
	до 16	1,0
	до 40	2,0
	более 40	3,0—4,0



Назначение припуска	Характеристика припуска	Размер припуска, мм
	профильный прокат:	
	уголок, швеллер, трубы, балки с высокой стенки, мм:	
	400 и менее	1,0
	более 400	1,5
	Продольные угловые швы, на каждый 1 м шва	1,0

Существующие тенденции совершенствования проектирования технологических процессов заготовительного производства предполагают исключение операций разметки за счет:

- использования приспособлений и оборудования, позволяющего устанавливать регулируемые упоры для мерной отрезки листового и профильного проката;

- использовать установки для термической резки с масштабной фотокопировальной системой управления, либо с программным управлением.

Резка. Все существующие приемы резки металлов можно разделить на две группы: механическая; термическая.

Достоинством механических способов являются:

- высокая производительность;
- возможность резки практически любых конструкционных материалов.

- К недостаткам следует отнести:

- ограничения толщины разрезаемых элементов до 40

мм;

- громоздкость и сложность оборудования, высокая стоимость режущего инструмента;

- при механической резке происходит истощение пластичности в поверхностных слоях зоны реза и, возможно, появление трещин на кромках. В тех случаях, когда после резки предусмотрена операция гибки в направлении поперечном относительно поверхности кромки, необходимо предварительно удалить



строжкой нагартованные слои.

- детали сложной конфигурации с небольшими радиусами закругления механическими способами вырезать можно только с использованием методов штамповки.

Термические способы резки лишены большинства недостатков, характерных для механических способов. Их преимуществами являются:

- возможность резки малоуглеродистых сталей практически любой толщины;
- возможность вырезки деталей любой конфигурации;
- относительная простота и компактность оборудования;
- возможность автоматизации.

К недостаткам термических способов резки следует отметить следующее:

- относительно низкая производительность;
- не все материалы одинаково хорошо поддаются резке;
- после резки образуются остаточные напряжения;
- сравнительно низкое качество поверхности реза.

В заготовительном производстве объемы применения термических и механических способов резки примерно одинаковы: на долю механических способов приходится 40÷45 %.

В производстве сварных конструкций применяют следующие виды ножниц (рис. 3.5): гильотинные листовые с наклонным ножом (рис. 3.5а), двухдисковые с наклонными ножами (рис. 3.5г), однодисковые с наклонным ножом, многодисковые (рис. 3.5д), ножницы для резки уголка (рис. 3.5 е), швеллеров и двутавров (рис. 3.5ж), пресс-ножницы (рис. 3.5б, в) комбинированные сортовые с ручным и механизированным приводом.

Гильотинные и дисковые ножницы применяются для резки листового проката. Первые обеспечивают более высокую производительность, вторые позволяют осуществлять непрерывную резку заготовок неограниченной длины, что особенно важно при использовании полосового и рулонного проката.

Ножницы многодисковые предназначены для продольной обрезки боковых кромок и роспуска, рулонного материала на полосы. Они применяются в крупносерийном и массовом производстве.

Для резки швеллеров и двутавров используют ножницы, у которых нож совершает три движения (рис. 3.5ж): прокалывает стенку и за счет колебательного движения поочередно разрезает полки.

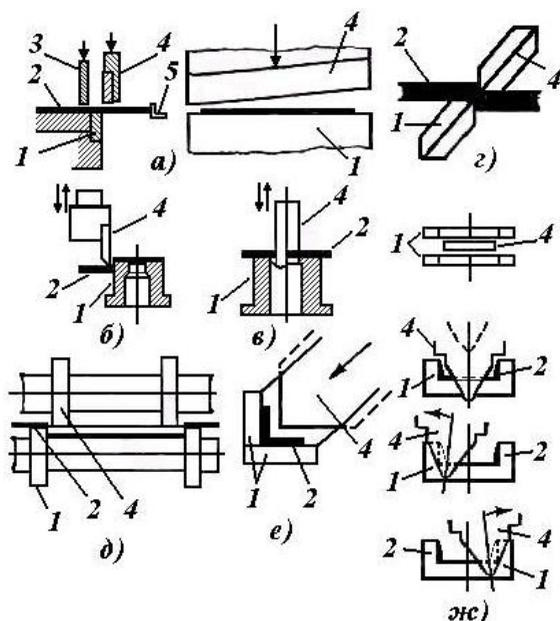


Рис.3.5. Схемы резки на ножницах различных типов:

- а) гильотинные ножницы; б, в) комбинированные сортовые г) двухдисковые с наклонными ножами; д) ножницы многодисковые; е) ножницы для резки уголка швеллеров и двутавров; ж) пресс-ножницы комбинированные сортовые

1 – нижний нож; 2 – разрезаемый материал; 3 – прижим; 4 – верхний нож; 5 – упор.

На комбинированных пресс-ножницах можно резать полосу, круг, квадрат, уголок, тавр, швеллер и двутавр. Пресс-ножницы позволяют осуществлять операции пробивки отверстий и зарубки в листовых и фасонных заготовках.

Для резки тонколистового металла представляют интерес пресс-ножницы (просечные станки) с числовым программным управлением движения двух координатного стола относительно матрицы и пуансона.

Конструкция ножниц предусматривает возможность быстрой смены пары матрица и пуансон, установленных на револьверную головку, что позволяет быстро изменять профиль контура реза. Совместная работа координатного стола и револьверной



головки позволяют за счет шагового перемещения листа между пуансоном и матрицей осуществлять непрерывную резку (контурную вырубку) металла по сложному контуру, что придает просечным станкам большую универсальность и дает им неоспоримое преимущество в мелкосерийном производстве.

Процесс механической резки на ножницах основан на упругопластическом деформировании и скалывании металла под давлением ножа, в результате чего на кромке металла возможно исчерпание запаса пластичности и образование трещин. Именно по этой причине механическую резку на гильотинных и сортовых ножницах, а также на штампах не следует выполнять при изготовлении деталей:

- из сталей с нормативным пределом текучести более 350 МПа;
- толщиной более 25 мм из сталей с нормативным пределом текучести более 275 МПа;
- толщиной более 16 мм из сталей с нормативным пределом текучести 285 – 350 МПа.

Механическую резку листового проката на гильотинных ножницах и штампах запрещается производить при изготовлении деталей из любых марок стали:

- конструкций I и II групп¹¹ в соответствии с классификацией СНиП II-23-81*, работающих на растяжение, продольные кромки которых после сборки и сварки остаются свободными, в том числе стыковых накладок;
- фасонки стропильных и подстропильных ферм, пролетных строений транспортерных галерей, а также фасонки прочих конструкций группы I в соответствии с классификацией СНиП II-23-81*.

Кромки деталей после механической резки не должны иметь трещин, расслоений, заусенцев и завалов более 1 мм.

¹¹ СНиП II-23-81* предполагает деление строительных стальных конструкций на четыре группы в зависимости от ответственности и условий работы:

Группа I. Сварные конструкции либо их элементы, работающие в особо тяжелых условиях или подвергающиеся непосредственному воздействию динамических, вибрационных или подвижных нагрузок

Группа II. Сварные конструкции либо их элементы, работающие при статической нагрузке (растянутые, растянуто-изгибаемые и изгибаемые элементы)

Группа III. Сварные конструкции либо их элементы, работающие при статической нагрузке (сжатые и сжато-изгибаемые элементы)

Группа IV. Вспомогательные конструкции зданий и сооружений



Оборудование и технологии сварочного производства

Применение механической резки допускается без ограничений, если после резки производится механическая обработка кромок на величину не менее 0,2 толщины листового проката.

Отрезные станки применяют для резки труб, фасонного сортового материала. На отрезных станках можно резать материал большего сечения, чем на ножницах, а качество резки более высокое. Однако трудоемкость резки на отрезных станках значительно выше, чем при резке на ножницах. Поэтому отрезные станки применяют для резки профилей, которые невозможно резать на ножницах. Например, для резки труб больших сечений, профилей под углом или в случаях, когда необходимо обеспечить высокую точность резки. В производстве деталей сварных конструкций применяются отрезные станки с дисковыми пилами, трубоотрезные станки, а также станки с абразивными отрезными кругами.

Термическая резка применяется для листового металла средних и больших толщин и труб большого диаметра. С помощью термической резки может производиться как прямолинейная, так и фигурная резка металла толщиной до 300 мм и более.

Основными видами термической резки являются: кислородная (газовая) и плазменно-дуговая (плазменная).

Кислородная резка применяется для малоуглеродистых и низколегированных сталей толщиной от 5 до 300 мм.

Плазменно-дуговая резка применяется для:

- малоуглеродистых и низколегированных сталей толщиной $2 \div 28$ мм;
- коррозионностойких сталей толщиной до 60-80 мм;
- алюминиевых сплавов;
- меди и ее сплавов.

Термическая резка может производиться вручную и на машинах. Машинная резка позволяет вырезать детали с высокой точностью, исключая трудоемкие операции разметки, обеспечивая высокую производительность, и поэтому является одним из наиболее прогрессивных технологических процессов. Универсальные машины для термической, кислородной и плазменно-дуговой резки могут иметь следующие конструктивные схемы исполнения: порталные, портално-консольные и шарнирные.

После термической резки кромки деталей должны быть очищены от грата.

Кромки листовых деталей конструкций, остающиеся после сборки и сварки свободными и работающие на растяжение, должны иметь шероховатость поверхности не более 0,3 мм. Допускает-



Оборудование и технологии сварочного производства

ся наличие отдельных мест на кромках деталей, не отвечающих указанным требованиям, а также выхватов, не выводящие размер детали за пределы допусков, исправленных плавной зачисткой абразивным кругом или заваркой по специальной технологии с последующей зачисткой мест исправления абразивным кругом, перемещаемым вдоль кромки.

В последние годы интенсивное развитие получила лазерная резка. По сравнению с традиционными методами в области раскроя листового проката (штамповкой, газопламенной и плазменной резкой), лазерная резка обладает рядом неоспоримых преимуществ:

- высокая скорость;
- идеальная поверхность реза;
- отсутствие необходимости дополнительной обработки;
- высокая производительность процесса;
- экономия материала благодаря малой ширине реза;
- незначительная зона термического воздействия;
- изготовление изделий любой сложности в единичных экземплярах благодаря использованию цифровых систем управления;
- высокая повторяемость сложных изделий в любых количествах;
- отсутствие деформации материала;
- используя возможности лазерной резки, можно раскроить по сложному контуру практически любой листовой материал;
- отсутствует механическое воздействие на обрабатываемый материал.

В основе лазерной обработки лежит тот факт, что лазерный луч можно сконцентрировать на поверхности материала в пятно диаметром в десятые доли миллиметра. Если при этом лазер обладает достаточной мощностью, то происходит расплавление, испарение материала. Обычно в станках для резки перемещается лазерный резак над неподвижным материалом с помощью координатного стола с числовым программным управлением.

В основном для обработки материалов используются два класса лазеров: твердотельные и газовые. Наиболее распространенные твердотельные лазеры на неодимовом стекле и иттрий-алюминиевом гранате с длиной волны около 1 микрона и газовые углекислотные лазеры с длиной волны около 10 микрон.

В промышленности наиболее распространенным технологическим процессом лазерной обработки является резка стальных листов толщиной до 20 мм (алюминиевых до 10 мм) по сложному контуру. Ее применяют для вырезки таких деталей, как прокладки, кронштейны, панели, приборные щитки, двери, декоративные решетки, дисковые



Оборудование и технологии сварочного производства

пилы. Весьма эффективным оказалось применение лазерной резки фигурных изделий на стадии освоения новой продукции, так как из-за высокой гибкости лазерного оборудования значительно сокращаются сроки освоения новых изделий.

В связи с расширением номенклатуры конструкционных материалов, в частности, увеличением объема применения неметаллических материалов и металлов со специальными свойствами появились способы резки, использующие абразивные материалы в виде сформованных абразивных инструментов или порошков. Наибольшее распространение получили абразивные инструменты в виде армированных дисков, которые с помощью электропривода вращаются со скоростью несколько тысяч оборотов в минуту. Ручной электроинструмент с абразивными дисками удобно использовать в монтажных условиях, особенно для резки замкнутых профилей и подготовки кромок под сварку. К недостаткам способа следует отнести большое выделение пыли и ухудшение условий труда.

Абразивные порошки используют достаточно давно для улучшения технологических характеристик кислородной резки. Добавление абразивного порошка в струю режущего кислорода облегчает удаление из зоны реза расплавленного металла и тугоплавких фракций, что значительно расширяет возможности кислородной резки в отношении качества резки таких конструкционных материалов, как, например, аустенитные стали, медные и алюминиевые сплавы и др.

В конце прошлого века появилась новая технология резки с использованием абразивного порошка – гидроабразивная резка.

В процессе резки водяной струей с абразивом вода выполняет функцию носителя. Резка осуществляется за счет схода материала, вызываемого ударением твердых частиц. Схема процесса гидроабразивной резки (ГРА) показана на рис. 3.7.

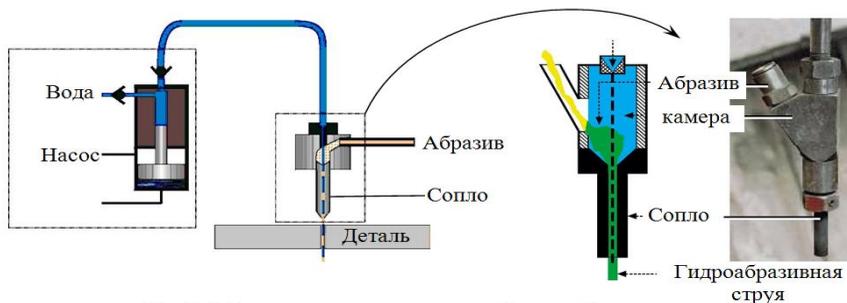


Рис 3.6. Схема установки для гидроабразивной резки



Оборудование и технологии сварочного производства

Сфокусированная водяная струя с абразивом прорезает в заготовке узкую щель. Во время резки водяная струя с абразивом с постоянной скоростью резки проводится по заготовке. Процесс разрезания происходит в результате эрозионного воздействия на материал высокоскоростного потока твёрдых частиц. Скорость процесса эрозии зависит от кинетической энергии частиц, механических свойств разрезаемого материала, угла атаки, формы частиц.

В комплекс для водоструйной резки входят: насос высокого давления; режущая головка; координатный стол и приводы перемещений режущей головки, управляемые системой числового программируемого управления; система разводки высокого давления и подачи абразива.

Давление воды составляет 200...400МПа (2000-4000 ати), диаметр сопла – 1,0...1,5 мм, размер абразивных частиц – 0,2...0,25 мм.

Данный способ позволяет разрезать детали толщиной до 150 мм, при максимально возможной толщине 300 мм.

Благодаря высокой точности и качеству поверхности резки, детали, как правило, не требуют дополнительной обработки.

Наиболее перспективным является применение гидроабразивной резки для получения деталей из аустенитных сталей, титановых и алюминиевых сплавов, для которых применение традиционных методов резки вызывает определенные технологические трудности.

Применение микропроцессорных систем управления движением инструмента и высокая точность резки позволяют получать детали со сложным контуром. Примеры деталей, вырезанных данным способом, показаны на рис 3.7.

Скорость резки зависит от толщины и свойств разрезаемого материала (табл. 3.3).

Таблица 3.3.

Скорость гидроабразивной резки различных материалов в мм/мин

Материал	Толщина, мм						
	5	10	15	20	25	50	100
нерж. сталь	1200	500	250	220	150	70	25
титан	1300	600	350	300	200	100	30



Материал	Толщина, мм						
	5	10	15	20	25	50	100
алюминий	2800	1200	600	700	500	200	70
гранит	4000	1800	1200	800	500	300	100
стеклопластик	4500	2200	1200	800	400	300	100
углепластик	5500	2200	1200	750	350	250	80
мрамор	6000	2700	1200	1300	700	450	150
стекло	6500	3000	2000	1400	700	500	160

Гидроабразивная резка имеет следующие преимущества:

- Отсутствует тепловое и механическое воздействие на деталь в процессе резки. Генерируемое в процессе резания тепло практически мгновенно уносится водой. В результате не происходит заметного повышения температуры в заготовке. Отсутствует



Рис. 3.7. Примеры деталей, контур которых получен методом гидроабразивной резки

зона термического влияния и зона наклепа, что особенно важно для материалов, хрупких и склонных к закалке. Небольшая сила (1-100 Н) и температура (+60...+90°C) в зоне резания



Оборудование и технологии сварочного производства

исключают деформацию заготовки, оплавление и пригорание материала в прилегающей зоне.

- Позволяет обрабатывать сложный профиль с любым радиусом закругления более 0,1-3,0 мм.

- Можно получать поверхность деталей с шероховатостью Ra 0,5-1,5 мкм.

- Экономичность процесса. Скорость резания - высокая. Малая ширина реза (1...3 мм) позволяет экономить дефицитные материалы при их раскрое. Среднее потребление воды в абразивно-жидкостном режущем устройстве невелико - около 3-4 л/мин.

- Доступность. Использование таких относительно недорогих компонентов, как вода и кварцевый песок в качестве абразива, делает процесс доступным.

- Универсальность установки, позволяющая резать на одной установке самые разнообразные материалы;

- Возможность резки заготовок, состоящих из различных материалов (например: резина + железо + пластик).

Для оптимизации выбора способа резки необходимо четко представлять, что является приоритетной целью выбора: принципиальная возможность резки данного материала; скорость резки; точность резки; исключение механического или теплового воздействия на деталь в процессе резки; наибольшая универсальность установки; минимальный уровень вредных воздействий; простота в применении и хорошие качественные показатели резки; экономичность; возможность обеспечения расходными материалами и их низкая стоимость.

Как правило, на практике трудно удовлетворить одновременно всем или хотя бы части этих требований, поэтому приходится принимать компромиссные решения. Рекомендации по выбору способа резки различных конструкционных материалов, приведенные в таблице 3.4. и на рис. 3.9, призваны облегчить эту задачу.

Таблица 3.4.

Способы резки различных материалов

Способы	МАТЕРИАЛЫ					
	Углеродистые стали	Нержавеющие стали	Алюминиевые сплавы	Титановые сплавы	Пластмассы	керамика



Оборудование и технологии сварочного производства

Газо-пламенная	+++	-	-	++	-	-
Плазменная	+++	+++	+++	++	+	-
Лазерная	+++	+++	++	+++	+	++
Механическая	+++	+++	+++	+++	++	+

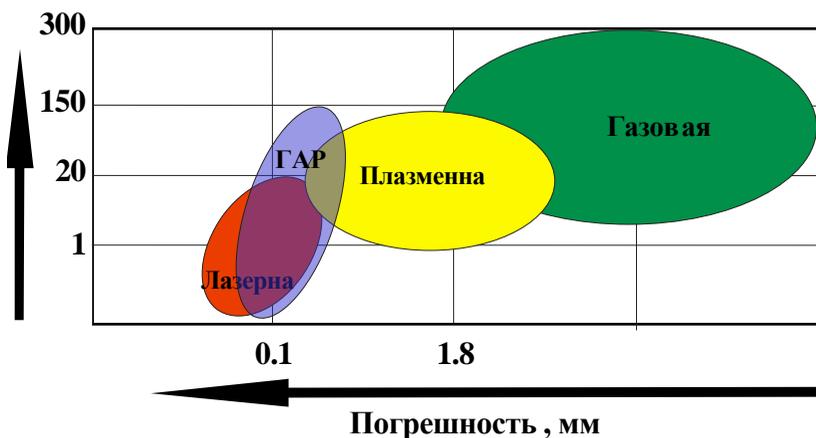


Рис. 3.8. Сопоставление возможностей различных способов резки в отношении толщины материала и точности получаемых деталей.

+++ -хорошо; ++ - удовлетворительно; + - возможно;

- - не применяется

Гибка. Процесс гибки заключается в пластическом изгибе заготовки, при котором внутренние слои металла сокращаются, а наружные растягиваются. Гибку следует выполнять при деформациях, исключающих образование трещин. Поэтому в зависимости от свойств материала, толщины, размеров и формы заготовки для каждого способа гибки и вида оборудования устанавливают предельно допустимые минимальные радиусы. Допускаемые минимальные радиусы гибки основных видов проката из сталей с нормативным пределом текучести до 275 МПа приведены в таблице 3.5. При гибке деталей из сталей с нормативным пределом текучести более 275 МПа значения допустимых минимальных радиусов гибки увеличивают на коэффици-



Оборудование и технологии сварочного производства

ент, равный $\sqrt{\sigma_H / 275}$, где σ_H — нормативный предел текучести стали, МПа.

Если требуется большая кривизна деталей (малый радиус), гибку проводят в горячем состоянии.

Температура нагрева должна составлять:

- для стали с нормативным пределом текучести до 350 МПа включительно следует нагревать до температуры 900 – 1000 °С;
- для стали, поставляемые в нормализованном состоянии, следует нагревать до температуры 900 – 950 °С;
- при гибке и правке стали всех классов прочности с местным нагревом операции связанные с пластическим деформированием металла должны заканчиваться при температуре не ниже 700 °С.

Таблица 3.5.

Профиль	Эскиз	Положение нейтральной оси	Допускаемый минимальный радиус гибки
Листовая универсальная и полосовая сталь		x – x y – y	25 h 25 b
Угловая сталь		x – x y – y	45 b ₁ 45 b ₂
Двутавровые балки		x – x y – y	25 h 25 b



Профиль	Эскиз	Положение нейтральной оси	Допускаемый минимальный радиус гибки
Швеллеры		$x - x$ $y - y$	$25 t^*$ $45 b$
Гнuto-сварные прямоугольные профили		$x - x$ $y - y$	$30 b_1$ $30 b_2$
Трубы, круг		$x - x$ $y - y$	$30 d$

* При гибке спаренных швеллеров

Ограничения минимального радиуса гибки профильного проката, приведенные в табл. 3.5, обусловлены тем, что при гибке по малому радиусу могут появляться гофры в результате потери устойчивости стенок и искажение профиля поперечного сечения.

В тех случаях, когда при гибке заготовок пластическая деформация протекает на локальных участках (гибка в угол), например, при гибке на кромкогибочных и листогибочных машинах, допускается значительно большая кривизна гиба. Для сталей с нормативным пределом текучести до 350 МПа минимальный внутренний радиус должен быть не менее 1,2 толщины для конструкций III и IV групп и не менее 2,5 толщины для конструкций I и II



Оборудование и технологии сварочного производства

групп¹². Применять гибку в угол для деталей из сталей с нормативным пределом текучести более 350 МПа не разрешается.

При гибке в угол кромки деталей из сталей с нормативным пределом текучести более 275 МПа, образованные механической резкой и расположенные перпендикулярно линиигиба, должны быть обработаны в зоне линиигиба абразивным кругом для удаления возможных трещин и надрывов на кромке. По принципу действия, оборудование для гибки делится на две группы: ротационные машины и прессы.

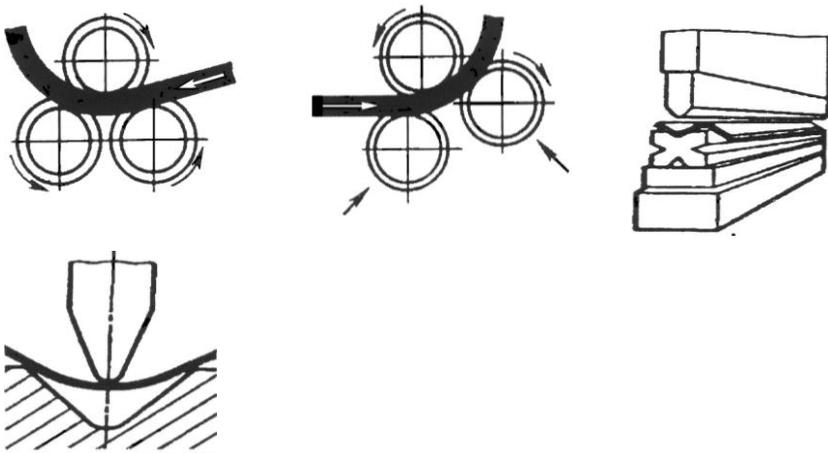
К ротационным машинам относятся листогибочные трех- и четырехвалковые машины, листогибочные машины с поворотной гибочной балкой, профилегибочные валковые станы, зигмашины, сортогибочные роликовые машины, трубогибочные машины, трубо- и профилегибочные станы с индуктивным нагревом (рис. 3.9).

Профильный прокат гнут на сортогибочных роликовых машинах, а замкнутые профили – на специальных станках с индукционным подогревом (рис. 3.9в).

Листогибочные трех- и четырехвалковые машины предназначены для гибки цилиндрических и конических обечаек из листового металла в холодном и горячем состоянии. Машины делятся на трехвалковые симметричные, трехвалковые и четырехвалковые асимметричные.

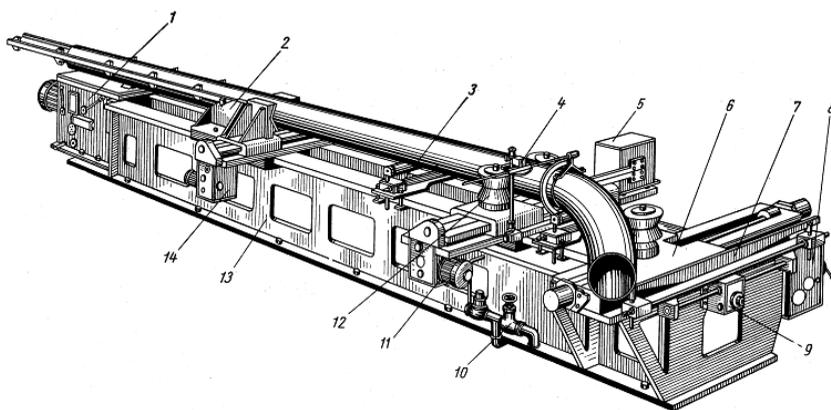
Листогибочные машины с поворотной гибочной балкой предназначены для гибки профилей из листового и полосового материала в холодном состоянии. Схема гибки в листогибочных машинах показана на рис. 3.10.

¹² Деление на группы в соответствии с СНИП II-23-81*. См. сноску 1 выше.



а)

б)



в)

Рис. 3.9. Схемы гибки:

а – гибка в валковых машинах; б – гибка под прессом;
в – профилегибочная установка с индукционным нагревом.

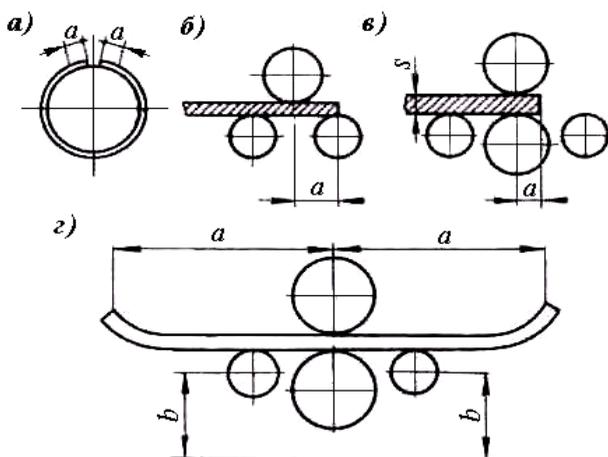


Рис.3.10. Схема вальцовки обечаек и внешний вид трехвалковых вальцов:

- а – цилиндрическая обечайка с недовальцованными участками;
- б – схема гибки на трехвалковых машинах; в – схема гибки на четырехвалковых машинах; г- схема гибки с предварительно подогнутыми кромками.

При гибке на трехвалковых симметричных машинах концы заготовок получаются плоскими. Длина плоского участка равна половине расстояния между плоскими валками. Поэтому концы заготовок предварительно подгибают на прессе или в листогибочной машине.

В асимметричных трехвалковых машинах передний боковой валок смещен к середине и может регулироваться, чтобы поджать лист к верхнему валку. Один конец заготовки сгибается почти полностью, а для получения обечайки с двумя согну-



тыми концами, её заводят в валки машины дважды.

В четырехвалковых машинах при гибке заготовка зажимается между верхним и средним валками, далее на заготовку нажимает правый боковой валок, и происходит загибание концевой участка. Затем правый боковой валок опускается, включается привод вращения верхнего валка и осуществляется гибка. Длина недовальцованного участка "а" при гибке на четырехвалковых и трехвалковых со смещаемым верхним валком вальцах обычно не превышает (2 – 4) s.

На трехвалковых вальцах можно изгибать как цилиндрические, так и конические обечайки. Изготовление листовых элементов с поверхностью двоякой кривизны получают на специальных вальцах с валками переменного диаметра или штамповкой. На листогибочных вальцах такие детали могут быть получены, если верхнему валку придать бочкообразную форму, а двум нижним – седлообразную. Обычно это достигается путем установки сменных втулок соответствующей формы (рис. 3.11). Иногда на нижние валки устанавливают седлообразную постель (рис. 3.11, позиция 3).

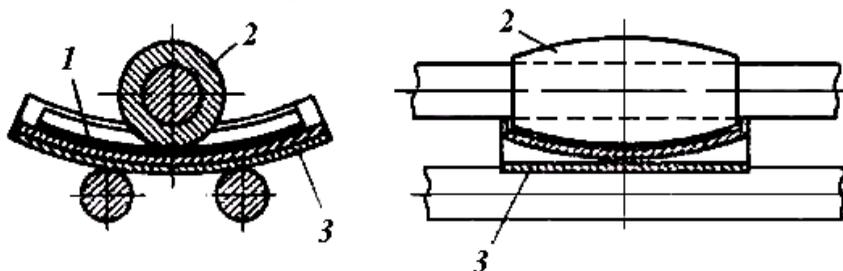


Рис. 3.11. Схема гибки листа по сферической поверхности:
1 – исходная заготовка; 2 – бочкообразная насадка; 3 – постель

Для изготовления различных профилей из листового и полового материала в холодном состоянии используют листогибочные прессы. Основным способом гибки является свободная гибка. Заготовка изгибается под действием пуансона, закрепляемого в ползуне прессы. Угол загиба определяется шириной матрицы и глубиной опускания пуансона. Матрица имеет несколько пазов разной ширины. В зависимости от требуемой ширины паза матрицы, лист перед гибкой устанавливается необходимой стороной на столе прессы. При изготовлении сложных профилей гибка производится в несколько операций. Схемы гибки в листогибочных машинах показана на рис. 3.12.

Способ гибки сортового проката в роликах аналогичен



гибке в валках листовых заготовок. Гибка происходит между тремя смежными роликами. Особенностью гибки заготовок сложного профиля в роликах, является искажение элементов профиля – схождение и расхождение полок уголка и швеллера, овальность сечения трубы, скручивание несимметричной заготовки по спирали, а также образование складок на элементах профильного проката. Эти искажения являются следствием неравномерности напряжений в отдельных элементах сечения изгибаемых заготовок.

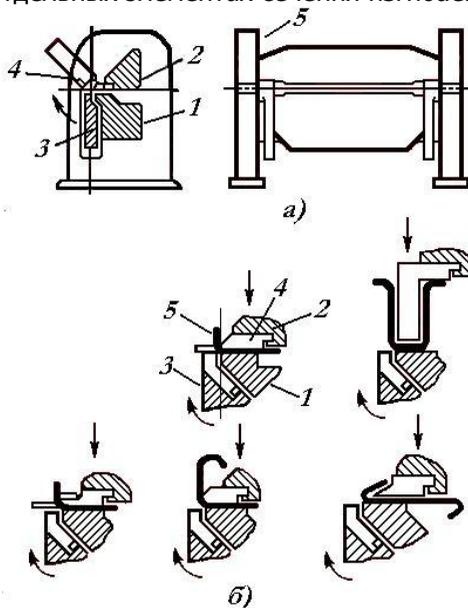


Рис. 3.12. Схемы гибки в листогибочных машинах с поворотной гибочной балкой: а – схема машины; б – схема гибки различных деталей: 1 – стол; 2 – прижимная траверса; 3 – поворотная балка; 4 – шаблон; 5 – стойка; 6 – заготовка.

Для предотвращения искажения профильного проката используют гибочные ролики специальной конструкции, а также направляющие и поддерживающие элементы в виде ложементов, вставок или роликов.

Профиль роликов должен соответствовать профилю изгибаемой заготовки в зависимости от направления ее элементов – внутрь или наружу.

Очистка и подготовка поверхности. При изготовлении сварных конструкций очистку применяют для удаления с поверх-



Оборудование и технологии сварочного производства

ности металла средств консервации, загрязнений, смазочно-охлаждающих жидкостей, ржавчины, окалины, заусенцев и грата, затрудняющих процесс сварки, вызывающих дефекты сварных швов и препятствующих нанесению защитных покрытий.

Для очистки проката, деталей и сварных узлов применяют механические и химические методы.

К механическим методам относятся: дробеструйная обработка, очистка абразивным инструментом, металлическими щетками, шарошками, иглофрезами.

При выборе метода очистки следует придерживаться следующих рекомендаций. Дробеструйная обработка обеспечивает высокую производительность, но требует применения защитных устройств для снижения шума. Ее применяют в серийном и массовом производстве для очистки больших по размеру поверхностей. Очистка абразивным инструментом является наиболее универсальным способом, не требующим громоздкого, сложного оборудования, поэтому данный метод имеет наиболее широкое применение, особенно в монтажных условиях. В качестве абразивного элемента используют абразивные круги сплошного сечения и лепестковые круги, представляющие собой полоски наждачной бумаги, закрепленные в оправке в радиальном направлении. Последние более плавно огибают обрабатываемую поверхность и обеспечивают более качественную очистку. Очистку кромок и сварных соединений следует выполнять в направлении, перпендикулярном к сварному шву. В противном случае появляющиеся при очистке риски могут послужить инициатором разрушения конструкции при эксплуатации.

Следует обратить внимание, что в процессе абразивной очистки выделяется много пыли. Это необходимо учитывать при обеспечении охраны труда. Кроме того, этот метод неприменим для очистки деталей из алюминиевых сплавов, т.к. частицы металла быстро налипают на поверхность абразивного инструмента и ухудшают его режущую способность, кроме того происходит вкрапление частиц абразива в алюминиевые сплавы, что ухудшает его свариваемость. Для очистки деталей из алюминиевых сплавов используют металлические щетки, шарошки или иглофрезы.

Химические методы очистки требуют организации отдельных производственных участков, поэтому используются, в основном, в массовом производстве, особенно в тех случаях, когда требуется очистка больших поверхностей, например, для контактной сварки.



Оборудование и технологии сварочного производства

Существуют две разновидности химических методов очистки – ванный и струйный. Первый предполагает периодическое погружение очищаемой детали в ванны с различными растворами. Обычно предполагается различный набор растворов для обезжиривания и травления. После каждого раствора производится промывка, а в конце предполагается сушка. Состав растворов зависит от вида и марки материала изделия.

При струйном способе очистки изделие подвергается воздействию тех же химических растворов, но их наносят на изделие струей под давлением. Этот способ очистки повышает производительность и качество, но требует большего расхода материалов.

Химические методы очистки наиболее часто используются при подготовке деталей из алюминиевых сплавов. Назначение пассивирования состоит в том, чтобы на поверхности деталей создать тонкую, плотную пленку, препятствующую дальнейшему окислению поверхности на воздухе, но не вызывающую затруднений при сварке.

Следует обратить внимание на то, что при хранении деталей после проведения операции очистки поверхностей под сварку необходимо обеспечить условия, препятствующие загрязнению или окислению поверхностей. С этой целью заготовки из стали иногда покрывают слоем грунта (существуют марки грунта, позволяющие производить сварку без его удаления), а для деталей из алюминиевых сплавов ограничивают срок хранения после очистки.

Подготовка кромок под сварку. Помимо очистки кромок, перед сваркой им требуется придать определенную форму, обеспечивающую возможность их проплавления и удобство манипулирования электродом. Форма профиля кромки и размеры зависят от выбранного способа сварки, толщины металла, конструкции стыка, его пространственного положения при сварке и возможностей точного направления электрода по стыку. В общем случае при выборе формы профиля кромки следует руководствоваться соответствующими стандартами или отраслевыми нормативными документами. При этом необходимо стремиться к уменьшению объема наплавленного металла и, вместе с тем не создавать условия для образования дефектов. При ручной дуговой сварке толстого металла наиболее часто применяется односторонняя V – образная или двухсторонняя X – образная разделка кромок (рис. 3.13). Угол φ выбирают так, чтобы сварщик имел возможность манипулировать электродом и обеспечивать проплавление кромок. Величину притупления кромок "с" выбирают



Оборудование и технологии сварочного производства

так, чтобы обеспечивать проплавление корня шва. При такой разделке объем наплавленного металла увеличивается пропорционально квадрату толщины кромок. Применение двухсторонней разделки кромок резко сокращает объем наплавленного металла и при правильной последовательности наложения швов уменьшает сварочные деформации, но такая разделка кромок требует кантовки свариваемых деталей, что повышает трудоемкость изготовления и требует доступа к шву с двух сторон. В качестве альтернативы рекомендуют применять несимметричную разделку кромок.

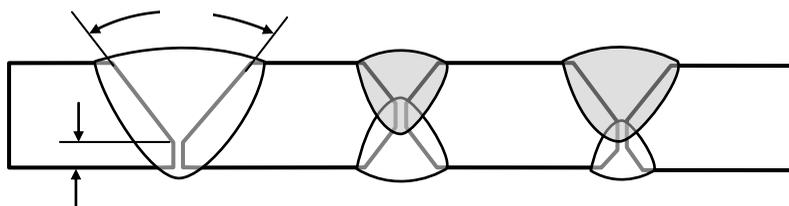


Рис. 3.13. Форма разделки кромок, применяемая для ручной дуговой сварки

Широкое пространство для манипуляции электродом требуется только в нижней части разделки. В более высоких слоях ширина V – образной разделки становится избыточной, поэтому для больших толщин ГОСТ предусматривает применение фигурных разделок кромок (рис.3.14). Для получения такой разделки требуется обработка резанием на кромкострогальных, карусельных или токарных станках, что ведет к увеличению стоимости обработки, но существенно повышает качество подготовки кромок и, следовательно, способствует обеспечению качества сварки.

При использовании современных методов автоматической сварки и современного сварочного оборудования целесообразно применять узкие и щелевые разделки с углом раскрытия кромок $3^\circ - 15^\circ$. Сварка соединений с щелевой разделкой приводит к снижению трудоемкости и дает существенную экономию наплавленного металла, но предъявляет весьма высокие требования к стабильности и качеству работы сварочного оборудования. Как правило, требуется применять специальные следящие системы для направления электрода по стыку.

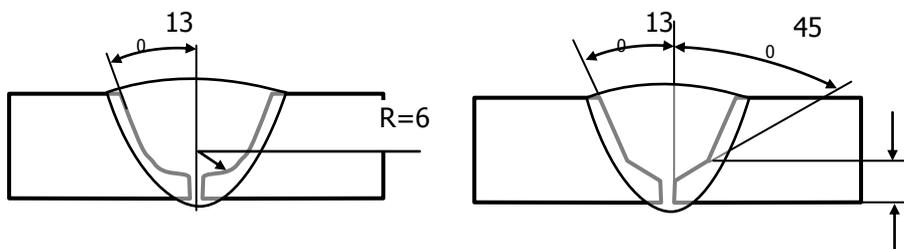


Рис. 3.14. Фигурная разделка кромок.

Подготовку кромок производят тепловой (кислородной или плазменной) или механической резкой. В первом случае подготовку кромок стремятся совместить с разделительной резкой заготовки. С этой целью резку выполняют двумя (для получения V – образной разделки) или тремя (для получения X – образной разделки) резаками, перемещающимися друг за другом (рис. 3.15).

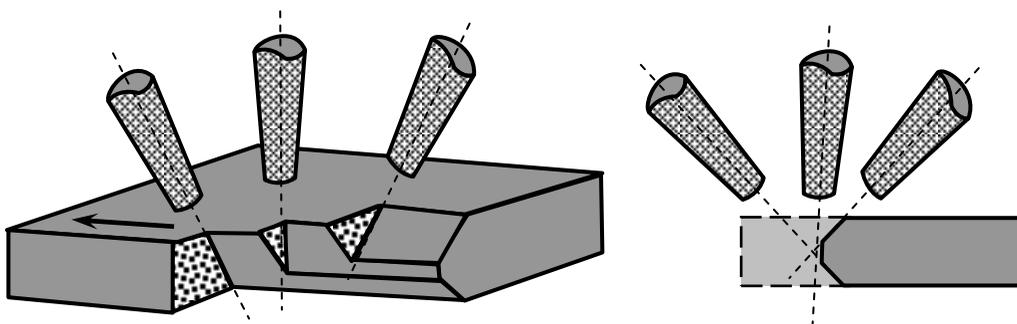


Рис. 3.15. Схема разделительной резки с одновременной подготовкой кромок под сварку

Для механической резки используется как универсальное оборудование (карусельные, токарные, фрезерные станки), так и специализированное (кромкострогальные станки). При обработке кромок цилиндрических деталей на универсальном оборудовании иногда возникают проблемы в обеспечении точности обработки кромок, связанные с тем, что допуски на овальность деталей во много раз могут превышать допуск на обработку кромки, а базирование режущего инструмента осуществляют по детали. Поэтому



Оборудование и технологии сварочного производства

при проектировании специализированного оборудования стремятся к тому, чтобы базирование режущего инструмента осуществлялось по обрабатываемой кромке.

Следует обратить внимание на перспективность применения ручного инструмента для механической резки и обработки кромок. Такой инструмент получил название "кромкорез".

Наиболее универсальной является модель ТКФ 1500 фирмы Trumpf. Угол фаски плавно регулируется в диапазоне от 20° до 55°. Этим инструментом можно обрабатывать как кромки плоских заготовок, так и кромки труб диаметром от 80 мм (рис.3.16).

Контур кромки также может быть любым (минимальный радиус для криволинейных контуров всего 55мм).

Инструмент в процессе резки закрепляет свой режущий аппарат на кромке заготовки и с помощью четырехгранного резаца ход за ходом скалывает стружку с края заготовки.



Рис.3.16. Внешний вид ручного инструмента для обработки кромок

3.2 Транспортные операции

Транспортирующие устройства выполняют функции связующего элемента в производстве сварных конструкций и состоят из загружающих, разгружающих, транспортирующих и ориентирующих механизмов.

Различают два вида перемещения изделий: непрерывное и прерывистое.

Непрерывное перемещение обеспечивают подвесные и рельсовые конвейеры и напольные транспортеры.

Напольные транспортеры используют для протяженных или крупногабаритных, тяжелых деталей. Они обеспечивают точную фиксацию пространственного расположения деталей, поэто-



Оборудование и технологии сварочного производства

му их применяют в тех случаях, когда необходимо выполнить технологическую обработку деталей непосредственно на транспорте.

Различают пластинчатые транспортеры, замкнутые в вертикальной плоскости, и рольганги (рис.3.17).

Рольганги целесообразно применять для перемещения длинномерных и плоских деталей и узлов. Рольганги – это система роликов, установленных на специальных опорах в горизонтальной либо наклонной плоскости, часть из которых может иметь индивидуальные приводы, обеспечивающие их вращение. При вращении роликов за счет трения осуществляется перемещение деталей. В наклонных рольгангах, для ограничения скорости перемещения, ролики располагают в наклонной плоскости под углом $1-2^{\circ}$. Так как перемещение изделий осуществляется за счет сил тяжести, устанавливать привод в наклонных рольгангах нет необходимости.

Рельсовые конвейеры представляют собой специальные тележки, перемещающиеся по рельсовому пути, как правило, от индивидуального привода. Используется преимущественно в качестве внутри- и межцехового транспорта для перемещения крупногабаритных и тяжеловесных изделий.

Подвесные конвейеры конструктивно представляют собой монорельс, по которому перемещаются тележки с подвешенным к ним грузом. Монорельс монтируют в виде замкнутого контура по значительной производственной территории. Тележки связаны между собой цепью, которая перемещается от нескольких приводов.

Подвесные конвейеры классифицируют как грузонесущие; грузотянущие; грузотолкающие.

В грузонесущих конвейерах груз подвешивается на конвейер и снимается без остановки конвейера.

В грузотянущих конвейерах груз перемещается на специальной тележке по рабочей площади производственного участка. Перемещение тележки обеспечивается посредством присоединения ее специальным тросом к тележке монорельса. Для остановки перемещения необходимо отсоединить трос от привода монорельса. Такая схема позволяет прерывать перемещение груза без остановки привода конвейера и накапливать его непосредственно на транспортирующей тележке. При такой схеме используется не только объемное пространство цеха, но и рабочие площади.

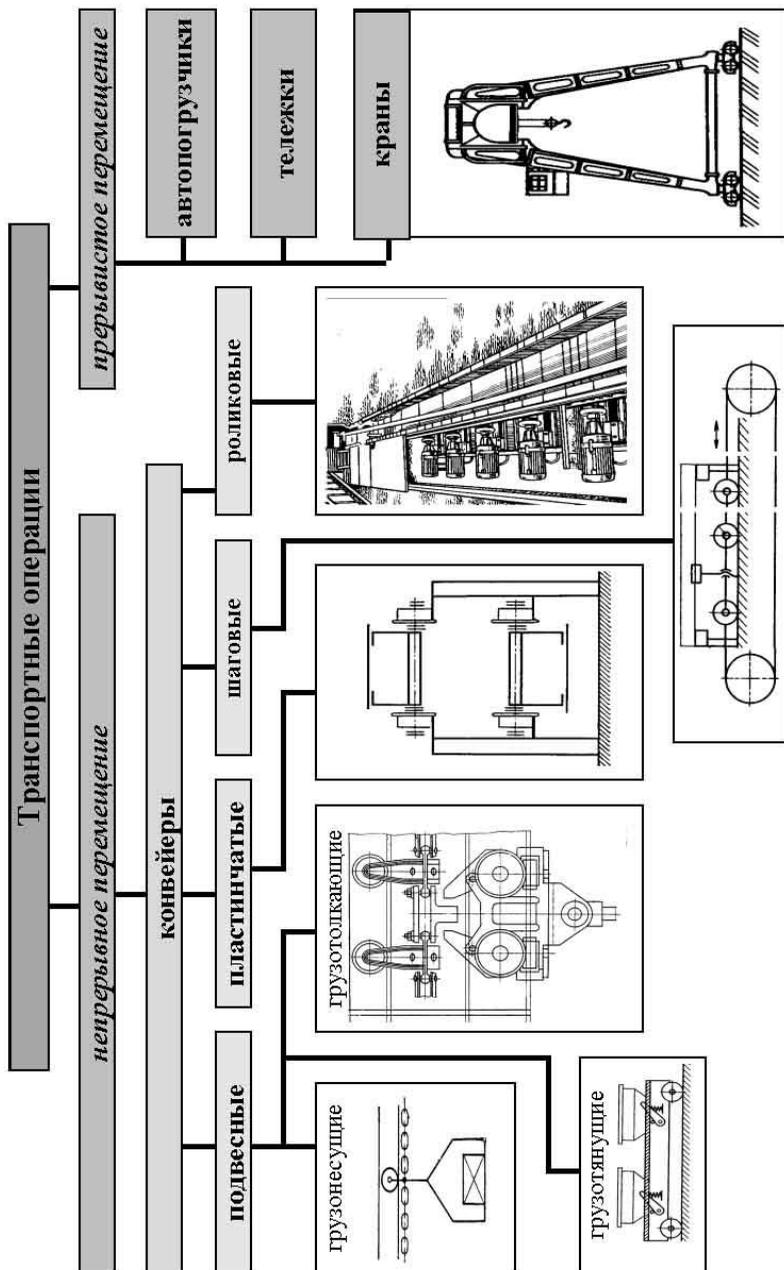


Рис. 3.17. Средства механизации для перемещения сварных



Оборудование и технологии сварочного производства

Грузотолкающие конвейеры представляют собой два параллельно установленных в вертикальной плоскости цехового пространства монорельса. По нижнему монорельсовому пути перемещается грузонесущая тележка, а по верхнему – грузотолкающая тележка. Такое устройство расширяет возможность транспортера, например, использовать его как накопитель, не занимая при этом дефицитные производственные площади.

Подвесные конвейеры являются перспективным и наиболее широко используемым транспортом при производстве сварных конструкций, так как позволяют рационально использовать объемы производственных помещений, освобождая дефицитные рабочие площади, и перемещать изделия, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

Непрерывное ритмическое перемещение изделий в автоматических линиях осуществляется с помощью шаговых конвейеров. Их применяют в тех случаях, когда требуется точное позиционирование деталей относительно сварочного автомата, и быстрое перемещение их с одной позиции на другую. Примером шагового конвейера может служить система тележек с гидropодъемниками, установленных на рельсовом пути с определенным шагом и связанных между собой приводным тросом. На каждом рабочем месте с помощью гидropодъемника изделия поднимают вверх, все тележки перемещаются на один шаг. После этого гидropодъемник опускает груз на очередное рабочее место для выполнения соответствующей операции.

Прерывистое перемещение осуществляют:

- универсальными средствами (электрокарами, автопогрузчиками, тележками, кранами и электрическими тельферами);
- специальными пульсирующими конвейерами, шаговыми транспортерами, рольгангами, склизами, толкателями.

3.3 Вспомогательное оборудование для взаимного ориентирования и перемещения свариваемого изделия и сварочного устройства

Качество сварного соединения и производительность сварки зависят от положения шва в пространстве и его доступности для сварочного инструмента. При использовании сварки плавлением предпочтение необходимо отдавать нижнему положению или положению "в лодочку". В связи с этим в процессе изготовления конструкции возникает необходимость выполнять кантовку или поворот изделия.

Для механизации этих операций используют: пово-



Оборудование и технологии сварочного производства

ротные столы; роликовые стелы; кантователи; вращатели; ционеры; манипуляторы; сварочные колоны и тележки.

Поворотные столы предназначены для вращения изделий с маршевой скоростью вокруг одной оси и установки их в удобную позицию для сборки, сварки или отделки. Поверхность поворотного стола обычно располагается горизонтально. Привод поворота осуществляется прерывисто вручную либо с помощью шаговых механизмов. Их обычно применяют для расширения фронта работ, когда на одном рабочем месте производится сборка, а на другом – сварка. На рис. 3.18 показан внешний вид одноместного и многоместного поворотного стола. Во втором случае поворотный стол имеет три рабочих площадки, на которых устанавливают детали, подлежащие сборке, что позволяет производить одновременно сборку и сварку. Каждая площадка имеет возможность поворота относительно собственной оси.



Рис.3.18. Внешний вид: одноместного (слева); многоместного поворотного стола (справа)



Роликовые стелды применяют для вращения цилиндрических изделий с маршевой скоростью при сборке, отделке, контроле испытаниях. Они представляют собой раму с несколькими блоками роликов, параллельно расположенных на ней. Часть роликов может иметь привод вращения. Роликовые стелды нередко используются в качестве вращателей при сварке кольцевых стыков обечаек. В этих случаях опорные ролики снабжаются приводами, которые помимо маршевой скорости обеспечивают регулируемое вращение со сварочной скоростью. На рис. 3.19 показаны роликовый стелд и блок роликов универсального роликового вращателя. На левом рисунке видно, что опорные ролики можно раздвигать, перемещая их оси в пазы. Таким образом, осуществляется настройка стелда под изделия различных диаметров. При использовании блока роликов, показанных на рис. 3.19 справа такая регулировка осуществляется иначе. Блок роликов имеет две площадки с параллельно расположенными рядами роликов. Наклон площадок позволяет изменять расстояние между осями роликов и настраивать роликовый стелд под изделия различных диаметров.

Следует иметь в виду, что при сварке многослойных кольцевых стыков обечайка совершает несколько оборотов и при неточной установке (плоскость размещения роликов не перпендикулярна оси обечайки) возможно смещение (тренд) обечайки вдоль оси. Это усложняет направление электрода по стыку при автоматической сварке. Чтобы исключить тренд роликовый стелд устанавливают с наклоном, а движение обечайки ограничивают упорным роликом. Для толстостенных тяжелых обечаек такой способ не приемлем и требуется устанавливать специальные системы антидрейфа.

Кантователи служат для поворота изделий и установки их в удобное положение при сборке, сварке и отделке. Для этого они снабжены механизмами поворота или наклона, имеющими обычно одну установочную, нерегулируемую скорость. Кантователи могут поворачивать изделие относительно одной или нескольких параллельных осей. Изделие, установленное на кантователе, вызывает дисбаланс системы. Для предотвращения самопроизвольного вращения рамы кантователя необходимо предусматривать балансирующие устройства или устройства, позволяющие закрепить изделие в требуемом положении после поворота.



Рис.3.19. Роликовый стэнд и блок роликов

Вращатели предназначены для вращения изделий со сварочной скоростью вокруг одной оси при автоматической, механизированной или ручной сварке кольцевых и круговых швов. Ось вращения может располагаться горизонтально, вертикально или под углом, но регулировка положения оси отсутствует. Многие вращатели имеют также маршевую скорость для быстрой установки изделия в начальную позицию.



Рис 3.20. Сварочная установка с горизонтальным вращателем и стойки двухстоечного вращателя

Позиционеры предназначены для поворота и вращения изделий относительно нескольких, чаще двух взаимно перпендикулярных, осей в пространстве с установочной (маршевой) скоростью, а также для установки их в удобную для сварки позицию. Внешний вид позиционера с наклонной планшайбой показан на рис. 3.21.

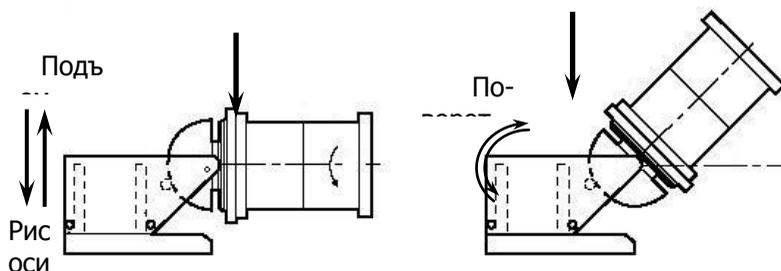


Рис. 3.21. Внешний вид позиционера с наклонной планшайбой.

Манипуляторы по конструкции практически не отличаются от позиционеров, но позволяют перемещать изделие, как с маршевой скоростью, так и со скоростью сварки, что позволяет производить автоматическую сварку при неподвижном расположении сварочного автомата. В настоящее время сварочные манипуляторы оснащаются системами числового программного управления, что позволяет связать в единый комплекс с автоматическими установками для сварки, например, с промышленными сварочными роботами.

Следует обратить внимание на тенденцию развития конструкции вспомогательного оборудования – модульный принцип их построения, когда в зависимости от назначения на раму устанавливают унифицированные блоки для вращения и поворота изделия.

При сварке конструкций с большими габаритными размерами возникает проблема доступности для выполнения сварки швов, расположенных на разных уровнях по высоте. В этом случае рекомендуется применять манипуляторы или кантователи с изменяемым положением оси вращения (рис.3.22).





Оборудование и технологии сварочного производства

Для установки, закрепления и перемещения сварочных устройств в процессе сварки используют различные по конструкции сварочные колонны и тележки.

Сварочные колонны имеют консоль, на которой закрепляют сварочный автомат либо неподвижно, либо на направляющих, по которым он может перемещаться при выполнении сварки. Консоль может перемещаться относительно колонны в вертикальном, в горизонтальном направлении и поворачиваться вокруг ее оси. Все три перемещения, обычно, служат для ориентации сварочного автомата относительно изделия и осуществляются с маршевой скоростью, но в некоторых конструкциях предусмотрено перемещение консоли в горизонтальном направлении со скоростью сварки. В некоторых конструкциях на конце консоли, перпендикулярно ее оси, закрепляется площадка, на которой имеются направляющие для перемещения сварочного автомата.

Сварочные колонны применяют в случае сварки кольцевых стыков обечаек и продольных стыков небольшой протяженности, а также при наплавке цилиндрических поверхностей.

Современные системы числового программного управления позволяют синхронно управлять перемещением изделия, установленного на манипуляторе и перемещением сварочного автомата, размещенного на колонне. Это особенно важно при сварке многослойных швов и при выполнении наплавки на сложные поверхности двоякой кривизны, например, эллиптические днища.

На рис. 3.23 показан внешний вид установки для антикоррозионной наплавки внутренней поверхности днища корпуса атомного реактора. Сложность автоматизированной наплавки состоит в том, что после завершения каждого прохода изменяется положение наплавляемого участка в трех координатах и эти изменения синхронно должны отслеживать манипулятор и сварочная колонна с тем, чтобы сохранить величину вылета электрода и горизонтальное положение наплавляемого участка.

При автоматической сварке швов большой протяженности (продольных швов обечаек, поясных швов балок и др.) применяют сварочные тележки гусеничного, велосипедного или портального типа.



Рис. 3.23. Установка для наплавки внутренней поверхности днища

По своей конструкции первые два типа похожи на сварочные колонны, установленные на четырехколесные (глагольного типа) и двухколесные (велосипедного типа) тележки, перемещающиеся по направляющим рельсам. От опрокидывания велосипедные тележки удерживает упорный ролик, перемещающийся вдоль рельса, закрепленного на стене или колоннах цеха.

Тележки портального типа напоминают несущую конструкцию портального крана.

Конструкция вспомогательного сварочного оборудования приведена в атласе под редакцией С.А. Куркина и др.¹³

В монтажных условиях для перемещения сварочных автоматов используют гибкие направляющие устройства, закрепляемые непосредственно на свариваемом изделии с помощью временных креплений или магнитов. Примеры таких устройств показаны на рис. 3.24.

¹³ С.А. Куркин, В.М. Ховов, А.М. Рыбачук, Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: Атлас: Учеб. Пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение. 1989. – 328 с.



Рис. 3.24. Устройства для направления сварочного автомата при сварке кольцевых стыков трубы (а) горизонтального стыка вертикального цилиндрического резервуара (б).

3.4 Сборочные операции

В общей трудоемкости сборочные операции занимают 25÷40 %. Они наименее механизированы. Сборка – совокупность операций по установке деталей в положение, предусмотренное чертежом для последующей сварки или пайки.

Помимо требований, определяемых конструкцией изделия, сборка должна удовлетворять ряду требований, вытекающих из особенностей техпроцесса сварки и пайки. К ним относятся: обеспечение доступности мест сварки; допустимые зазоры, смещение кромок и деталей друг относительно друга, излом осей свариваемых деталей, угловатость кромок и др.

Требования к точности сборки определяются норматив-



Оборудование и технологии сварочного производства

ными документами. Некоторые требования приведены ниже. Например, Норвежские нормы DNV-OS- C401 допускают следующие отклонения размеров при сборке узлов морских буровых платформ (рис. 3.25 – 3.28). Аналогичные требования к сборке деталей под сварку предъявляют отечественные нормативные документы.

Рис. 3.25. Допустимое смещение кромок:

$$e \leq 1,0 \text{ при } t_1 \leq 6,5 \text{ мм};$$

$$e \leq 0,15t_1 \text{ max } 3 \text{ мм.}$$

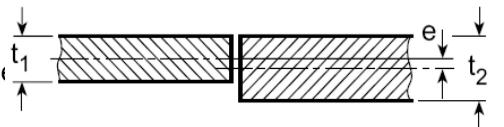
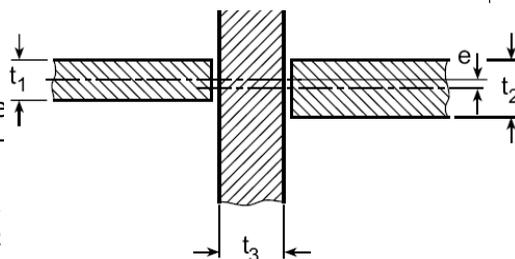


Рис. 3.26. Допустимое смещение элементов крестового соединения:

$$e \leq 0,5t_1 \text{ для } t_1 \leq t_2 \text{ и } t_2 < t_1;$$

$$e \leq 0,5t_3 \text{ для } t_1 \leq t_2 \text{ и } t_2 \geq t_1;$$



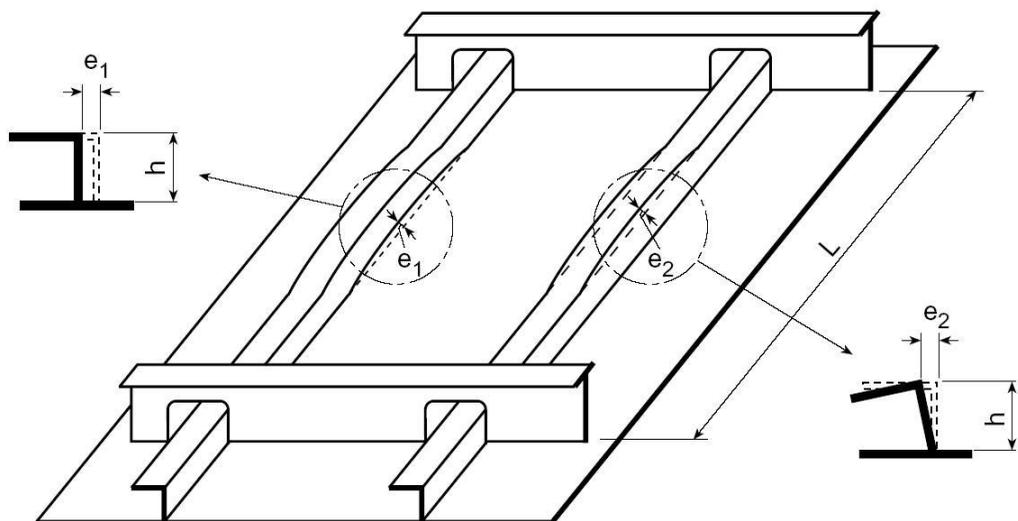


Рис. 3.27. Допустимые отклонения при сборке конструкции.
 $e_1 \leq 1 + 0,002L \text{ max } 10\text{mm}$; $e_2 \leq 1 + 0,01h \text{ max } 0,5t$

Точность зависит от методов сборки и применяемых приспособлений, способа базирования деталей. С целью повышения точности рекомендуется разбить сварную конструкцию на сборочные единицы и после их изготовления выполнить общую сборку всего изделия. При этом удастся улучшить доступность сварных швов, осуществить компенсацию неточности сборки отдельных узлов и уменьшить сварочные деформации. Аналогичные возможности появляются при применении метода последовательного наращивания, но в этом случае сокращается фронт работ, что увеличивает срок изготовления.

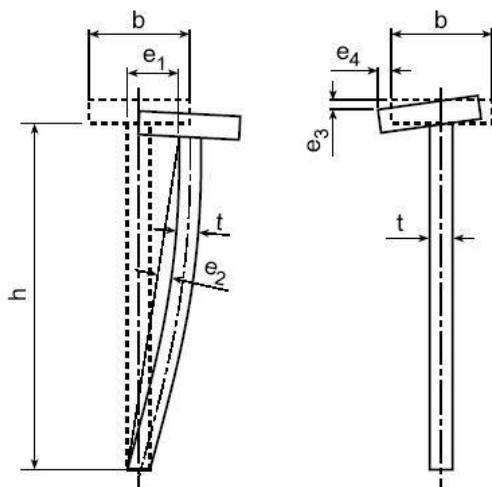


Рис. 3.28. Допустимые отклонения при сборке тавровых соединений элементов набора жесткостей.

$$e_1 \leq 1 + 0,01h \text{ max } 10\text{mm}$$

$$e_3 \leq 1 + 0,01b \text{ max } 6\text{mm}$$

$$e_2 \leq 1 + 0,01h \text{ max } 0,5t$$

$$e_4 \leq 0,02b \text{ max } t$$

Если сварка является заключительной операцией, то точность конструкции зависит от ширины поля допустимых отклонений основных размеров заготовок. Более того, отклонение размеров заготовок могут привести к существенным затруднениям при сварке, поскольку допуски на расположение стыка в пространстве достаточно жесткие, особенно при применении современных методов автоматической сварки. Поэтому руководитель сварочного производства должен обращать серьезное внимание на обоснованность требований, установленных для изготовления деталей и заготовок.

Наибольшую точность изготовления обеспечивает механическая обработка готовой сварной конструкции после сварки, но при этом некоторые участки конструкции могут оказаться недоступными для обработки. При изготовлении крупногабаритных конструкций возможности механической обработки ограничиваются наличием на производстве соответствующего оборудования. Кроме того, механическая обработка готовой сварной конструкции предполагает необходимость больших припусков на детали и заготовки, что увеличивает трудоемкость такой обработки.

В этих случаях рекомендуется компромиссное решение – механической обработке подвергают отдельные детали перед сборкой и сваркой. Это позволяет повысить точность при сборке, но точность готовой конструкции может оказаться недостаточной из-за появления остаточных сварочных деформаций.

В ряде случаев рекомендуется применять механическую обработку деталей не только перед сваркой, но и после изго-



Оборудование и технологии сварочного производства

товления отдельных сборочных единиц и готовой конструкции.

Сборка включает три группы операций:

- 1) установку деталей в положение, предусмотренное чертежом;
- 2) взаимное ориентирование деталей;
- 3) временное закрепление деталей.

Методы выполнения этих операций существенно различаются в мелкосерийном, серийном и массовом производстве.

Мелкосерийное производство

Установка и перемещение деталей осуществляется либо вручную, либо с помощью грузоподъемных средств.

Взаимное ориентирование деталей осуществляют по разметке или по шаблонам вручную. Такие способы взаимного ориентирования представляют собой достаточно трудоемкий процесс. Для снижения трудоемкости эту операцию целесообразно выполнять с использованием переналаживаемых кондукторов (рис. 3.29), собранных из набора унифицированных деталей Универсально-сборных приспособлений (УСПС), что позволит оперативно производить переналадку приспособлений под другие сборочные единицы и конструкции.



Рис. 3.29. Сборочное приспособление на основе комплекта унифицированных деталей УСПС

Закрепление деталей осуществляют с помощью струбцин, скоб с клиньями и других простейших приспособлений, а



также с помощью швов-прихваток.

Требования к швам прихваток:

1. Прихватку выполняют только после очистки свариваемых кромок и прилегающих к ним поверхностей, шириной не менее 10мм, до металлического блеска.
2. Прихваточные швы нужно выполнять с применением тех же сварочных материалов, которые будут использоваться при сварке.
3. По высоте сечения размер прихватки не должен превышать $2/3$ размера основного шва.
4. По длине прихватки могут быть либо сплошными, либо прерывистыми. Если прихваточные швы прерывистые, то их длина должна составлять не более $(5 \div 10)\delta$ (δ – толщина свариваемых элементов).
5. Расстояние между прихватками должно быть $(30 \div 50)\delta$, но не более 500 мм.
6. Обязательно закреплять прихваточными швами соединяемые детали в начале и в конце стыка.
7. При сборке решетчатых конструкций каждый элемент должен быть закреплен прихватками не менее чем в двух точках.
8. При сборке труб прихватки следует располагать симметрично.
9. Общий принцип, которым следует руководствоваться при назначении размеров и расположения прихваток, состоит в следующем: прихватки должны обеспечивать достаточную прочность и жесткость собранного узла в период транспортировки его к месту сварки. Вместе с тем, они не должны ухудшать качество сварного соединения.
10. При сварке металл прихваток должен быть полностью расплавлен.

Серийное производство.

Установка и перемещение деталей осуществляется также как и в мелкосерийном производстве;

Взаимное ориентирование деталей осуществляется в универсальных сборочных приспособлениях – кондукторах, конструкция которых позволяет изменять установочные размеры опорных, упорных и закрепляющих элементов.

В таких приспособлениях имеется возможность осуществлять сварку однотипных конструкций с различными размерами.

Закрепление деталей осуществляется с помощью ручных и механизированных прижимов, причем, чем больше объем выпуска изделий, тем выгоднее применять быстродействующие



Оборудование и технологии сварочного производства

механизированные прижимы. В тех случаях, когда сборка и сварка изделия производится в различных приспособлениях, детали должны быть дополнительно закреплены с помощью прихваток. Следует обратить внимание, что закрепление с помощью прихваток увеличивает время сборки, поэтому необходимо стремиться к сборке и сварке конструкции в одном кондукторе.

Массовое производство.

В массовом производстве выполнение сборочных операций включает следующие действия:

- накопление деталей;
- предварительное ориентирование;
- перемещение деталей в сборочное устройство;
- взаимное ориентирование деталей;
- временное закрепление деталей.

Поточно-механизированные, автоматизированные машины и станки-автоматы оснащены устройствами и механизмами, выполняющими эти действия. Конструкции этих устройств определяются формой и размерами деталей, оборудованием для выполнения сборки и сварки, и будет рассмотрена в составе поточно-механизированных линий, применяемых для массового производства сварных конструкций.

Использование специальных сборочных приспособлений позволяет повысить производительность труда и улучшить качество сборки. При сборке детали укладываются в приспособление по упорам и фиксаторам и закрепляются прижимами.

Приспособления должны обеспечивать:

- доступность сварных соединений для сварки в удобном положении;
- точность базирования, надёжность закрепления. В некоторых случаях в технологических целях (например, для уменьшения сварочных напряжений или предотвращения образования трещин) предусматривается возможность перемещения отдельных свариваемых деталей в заданном направлении;
- компактность конструкции;
- удобство и требуемую механизацию загрузки, закрепления и съёма изделия;
- высокую степень быстроедействия;
- надёжную защиту трущихся пар механизмов от загрязнения и сварочных брызг;
- надёжность и долговечность работы;
- удобство монтажа и демонтажа элементов приспособления при ремонте и переналадке.



Оборудование и технологии сварочного производства

Основой сборочного приспособления является жёсткая рама или каркас несущие упоры, фиксаторы и прижимы. При проектировании сборочных приспособлений стремятся к использованию унифицированных элементов. В задачи конструктора нестандартной сборочно-сварочной оснастки обычно входит проектирование рамы, на которой размещаются упоры, фиксаторы и прижимы, выбранные из библиотеки унифицированных элементов. Обычно проектирование выполняют

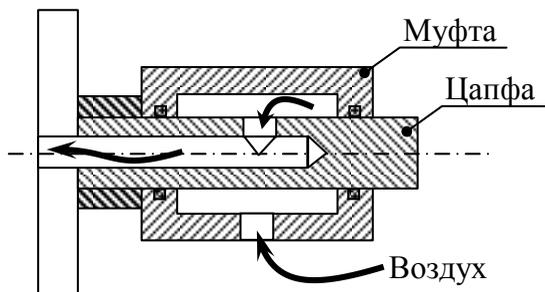


Рис. 3.30. Конструкция узла подвода воздуха к вращающимся деталям

средствами графических программных комплексов типа Auto Cad; Solid Edge; Solid Work и др. При необходимости поворота или кантовки изделия на раме приспособления должны быть размещены цапфы. Если привод прижимов пневматический, то на одной из цапф должна быть предусмотрена муфта для подвода воздуха. Она исключает наматывание шлангов на вращающийся вал (рис.3.30). При размещении упоров, фиксаторов и прижимов необходимо предусмотреть возможность свободного доступа сварочного инструмента к сварным швам. На рис 3.31. приведено рекомендуемое соотношение размеров для обеспечения свободного доступа к сварным швам при ручной дуговой сварке.

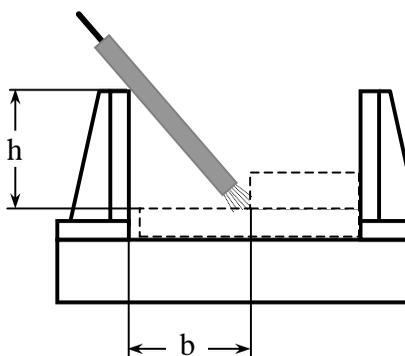


Рис. 3.31. Зона доступности швов для ручной дуговой сварки
 при $b \leq 400\text{мм}$ $h \leq 0,7b$;
 при $b > 400$ величина h не ограничена

Основные элементы приспособлений

Базовые элементы (упоры, фиксаторы). Способы базирования и конструкцию базовых элементов приспособления выбирают с учётом конфигурации деталей (формы, размеров и точности расположения поверхностей).

Различают несколько способов базирования деталей при сборке: по плоскости и двум отверстиям; по плоскости и наружному контуру; по плоскости, отверстию и выступу; по плоскости и цилиндрической наружной поверхности или центральному отверстию

К базовым элементам относятся неподвижные штыри с плоской или насеченной головкой, установочные призмы с наклоном опорных плоскостей под углом 60° , 90° или 120° , планки с косыми вырезами, установочные пальцы цилиндрические и с двусторонним срезом. В отдельных случаях в приспособлениях совмещаются функции базовых и зажимных элементов (самоцентрирующиеся патроны, тиски). В тех случаях, когда упоры и фиксаторы препятствуют извлечению собранного узла из приспособления, применяют откидные упоры и фиксаторы.

Иногда в качестве опорной поверхности используют поверхность рамы приспособления. В этом случае для уменьшения объема механической обработки этой поверхности рекомендуется на раме предусмотреть опорные площадки.

Установка и закрепление свариваемых деталей должна обеспечивать их неизменное положение под действием зажима и возникающих усадочных сил при сварке. Поэтому расположение базовых поверхностей в деталях, а также направление и величина усилий за-



Оборудование и технологии сварочного производства

жима выбираются с учётом расположения установочных элементов и возможных сварочных деформаций. Одновременно при выборе типа зажимных устройств необходимо учитывать возможность деформации деталей и избегать их недопустимой величины. Ориентация и устойчивое положение детали обеспечивается достаточным количеством базовых элементов и прижимов.

Прижимы.

Существует большое разнообразие прижимных устройств, применяемых в приспособлениях (рис. 3.32). Конструктивные решения этих устройств диктуются формами собираемого изделия, габаритными размерами, массой и технологией сварки, а также величиной и направлением усилий, возникающих при сварке.



Рис. 3.32. Винтовые прижимы (а, б, в), ручные рычажные (г, д) прижимы и рычажные прижимы с пневматическим приводом (е,ж)

Прижимы по типу силового источника подразделяются на ручные и механизированные (с механическим приводом).

Ручные прижимы применяются во вспомогательных, фиксирующих и зажимных механизмах. К ним относятся: клиновые, винтовые, рычажные эксцентриковые или байонетные.

Ручные прижимы должны быть спроектированы самотормозящими. К их достоинствам относится относительная простота, но они требуют непосредственного воздействия сборщика, и, как правило, не обеспечивают высокую производительность. Их применяют в мелкосерийном производстве.



Оборудование и технологии сварочного производства

В качестве привода механизированных прижимов применяют пневматические цилиндры, пневмашланги, пневматические камеры, гидравлические цилиндры, электромагниты, постоянные магниты, электромеханические и вакуумные устройства.

Использование прижимов с механизированным приводом значительно сокращает время, затрачиваемое на сборку, особенно, если требуется закрепить изделие одновременно в нескольких местах. Широкое применение получили пневматические прижимы, приводимые в действие сжатым воздухом (в среднем 4 ати.). Однако при таком давлении размеры цилиндров, требуемые для обеспечения заданного усилия закрепления, могут оказаться значительными.

Для их уменьшения прибегают к дополнительному использованию рычажной или клиновой системы закрепления.

Гидравлический силовой привод, развивая значительные усилия зажима, позволяет регулировать эти усилия в широком диапазоне с помощью предохранительных или редуccionных клапанов.

Гидроцилиндры даже при значительных усилиях имеют сравнительно небольшие габаритные размеры, что позволяет создавать компактную конструкцию приспособления. Однако для каждого приспособления требуется специальная установка с гидроаппаратурой, обеспечивающей подачу рабочей жидкости в гидроцилиндры. Кроме того, качество изготовления и монтажа гидравлической системы должны исключать попадание масла на свариваемые детали, чтобы исключить появление дефектов.

Недостатком всех механизированных прижимов является то, что они не обеспечивают условия самоторможения. При нарушении питания может произойти самопроизвольное раскрепление изделия.

В связи с этим для обеспечения безопасности работы, особенно в случае, когда в процессе сборочно-сварочных работ изделие требуется вращать или кантовать, используют механизированные прижимы совместно с немеханизированными (клиновые, эксцентриковые и др.), которые должны быть спроектированы как самотормозящие, чтобы при нарушении электрического или пневматического питания удерживали детали в закрепленном состоянии.

Методика конструирования приспособлений

Проектирование приспособления для сборочно-сварочных операций тесно связано с разработкой технологического процесса изготовления данного изделия. Конструктор приспособления в качестве исходных данных получает техническое задание от технолога, который определяет в общих чертах схему приспособления.



Оборудование и технологии сварочного производства

В задачи технолога входит: выбор места установки технологических баз и прижимов; установление маршрута изготовления изделия; выбор средств механизации транспортных операций; уточнение содержания технологических операций с разработкой эскизов изготовления и указанием размеров промежуточных сборочных единиц, дающих представление об установке и закреплении заготовки; установление оптимальных режимов сварки; определение штучного времени изготовления изделия; выбор типа и моделей вспомогательного и сварочного оборудования;

В задачу конструктора приспособления входят: уточнение и конкретизация принятой технологом схемы приспособления, выбор конструкции и размеров установочных элементов приспособления, определение величины усилия для закрепления деталей и уточнение схемы и размеров зажимного устройства, определение размеров направляющих деталей приспособления, общая компоновка приспособления с установлением допусков на изготовление деталей и сборку приспособления.

В качестве исходных данных конструктор приспособления должен располагать: чертежами деталей, входящих в сборочную единицу, чертежом готового изделия и техническими требованиями его приёмки; технологическим процессом сборки и сварки изделия, из которого следует: последовательность и содержание операций; принятая схема базирования; используемое вспомогательное, сборочное и сварочное оборудование, оптимальные режимы сварки, а также запроектированная производительность с учётом времени на установку, закрепление и снятие изготавливаемого изделия. Кроме того, конструктор должен располагать ГОСТами и нормами на узлы сборочно-сварочных приспособлений, а также иметь базу данных, содержащую типовые и унифицированные узлы и детали приспособлений.

Конструктором учитываются технологические возможности изготовления приспособления в местных производственных условиях и программа выпуска изделия для выбора наиболее рентабельной его конструкции, особенности выбранного процесса сварки и требования к отделке готового приспособления и его частей.

На чертежах деталей и сборочных единицах приспособления должны быть указаны их размеры, допуски, шероховатость поверхностей, а также марка, твёрдость, термическая обработка материала и особые технические требования.

Из технологического процесса конструктор получает сведения о сварочном и вспомогательном оборудовании, на котором намечается вести сборку и сварку. Ему необходимо знать основные размеры этого оборудования, связанные с установкой приспособления. Целе-



Оборудование и технологии сварочного производства

сообразно ознакомиться с конструкцией используемого оборудования и технологическими особенностями выбранного процесса сварки непосредственно в цехе, что позволит наиболее полно выяснить особенности проектируемого приспособления, найти выгоднейшее расположение, как всего оборудования, так и органов его управления. Весьма полезно изучить опыт эксплуатации аналогичных приспособлений и учесть замечания руководящего и обслуживающего персонала.

Тщательная проработка исходных данных может привести конструктора к более рациональной схеме приспособления, изменение схемы базирования следует согласовать с технологом.

В соответствии с выбранной схемой и требованиями задания на проектирование производится конструктивная разработка приспособления. Она включает необходимые расчёты на прочность и жёсткость и завершается созданием рабочих чертежей.

Если в процессе сборки изделие подвергается кантовке, то расчёт механизма вращения следует производить для наиболее неблагоприятного (создающего наибольший вращающий момент) положения изделия. Для уменьшения вращающего момента целесообразно предусматривать возможность регулируемой балансировки приспособления.

Для сварочного приспособления необходим учёт дополнительных усилий, которые могут возникнуть в результате усадки изделия от сварки. При этом существенными являются требования, предъявляемые к приспособлению в части снижения сварочных деформаций в изделии. Если не ставить цель уменьшить деформации, то следует либо предусмотреть возможность смещения изделия, либо допустить упругую деформацию приспособления совместно с изделием. В последнем случае допускаемая деформация не должна превосходить требования расчёта на жёсткость и прочность.

Приспособление, имеющее целью снизить сварочные деформации изделия, должно обладать повышенной жёсткостью. При этом надо иметь в виду следующее. Усилие от усадки оказываются настолько большими, что предотвратить продольное или поперечное сокращение зоны сварного соединения за счёт жёсткости закрепления в приспособлении обычно не удаётся. Поворот сечений может быть ограничен в более значительной степени и поэтому основное внимание следует обращать на предотвращение изгиба свариваемого изделия. С учётом вышесказанного можно выделить три характерных случая.

1. Снижение остаточных сварочных деформаций достигается путём предварительного изгиба или растяжения свариваемых элемен-



Оборудование и технологии сварочного производства

тов при закреплении их в приспособлении. Расчёт приспособления на прочность и жёсткость должен учитывать наличие дополнительных усилий, необходимых для деформирования закрепляемого изделия.

2. Жёсткое закрепление в приспособлении позволяет уменьшить временные деформации во время сварки. В этом случае расчёты на жёсткость и прочность должны выполняться с учётом моментов от усадочных усилий.

При разработке приспособлений выбор размещения базовых элементов и расположение прижимов должен учитывать направление деформации изделия от сварки с тем, чтобы после выполнения сборочной или сварочной операций извлечение изделия из приспособления не вызывало затруднений.

Точность изготовления приспособления определяется требованиями к точности сборки изделия. Целесообразно при проектировании расстояния между базовыми поверхностями назначать с учётом ожидаемой деформации изделия от сварки.

Последовательность конструирования приспособления

Конструирование приспособления целесообразно начинать с уточнения конструкции изделия и схемы базирования, предложенной технологом. Зная принятую в технологическом процессе базировку деталей, точность и шероховатость базовых поверхностей, конструктор определяет тип и размер установочных элементов, их количество и взаимное положение. Решение этого вопроса должно быть увязано с требуемой точностью свариваемой конструкции.

Зная из технологического процесса места приложения сил для закрепления отдельных деталей и величины усадочных сил, вызванных процессом сварки, конструктор определяет величину сил закрепления. Исходя из регламентированного времени на закрепление и открепление заготовки, типа приспособления (одно - или многоместные), формы и точности деталей, а также величины силы закрепления, выбирают тип зажимного устройства и определяют его основные размеры. Выявляют вспомогательные устройства, (медные подкладки, флюсовые подушки) устанавливают их конструкцию и размеры. При их выборе следует в максимальной степени использовать имеющиеся нормы и стандарты.

Разработку общего вида приспособления обычно начинают с нанесения на лист контуров свариваемого изделия. Обычно изделие показывают условными линиями (тонкими, штрихпунктирными или вычерчивают цветным карандашом) для того, чтобы оно выделялось на чертеже приспособления.



Оборудование и технологии сварочного производства

Разработку общего вида ведут методом последовательного нанесения отдельных элементов приспособления вокруг контуров заготовки. Сначала вычерчивают установочные детали, затем зажимные устройства, вспомогательные устройства для поворота изделия и для перемещения сварочных головок. Вслед за этим определяют контуры корпуса приспособления, который объединяет в единое целое перечисленные выше элементы.

На общем виде приспособлений указывают габаритные размеры и размеры, которые необходимо выдержать при сборке и отладке приспособления, даётся нумерация деталей и спецификация с указанием использованных нормалей и стандартов. Общий вид может содержать технические требования, которые должны быть выполнены при сборке приспособления. Далее выполняют детализовку, причём рабочие чертежи разрабатывают обычно только на специальные детали.

3.5. Операции по уменьшению деформаций и напряжений, возникающих при сварке

Причины, по которым необходимо уделять внимание этому вопросу при проектировании сварочного производства, обусловлены тем, что практически все способы сварки сопровождаются неравномерным нагревом изделия, в результате чего температурные деформации могут вызывать изменение проектного положения деталей при сварке, размеры и форму готовой конструкции.

Различают временные и остаточные напряжения и деформации.

Временны: способствуют образованию горячих трещин, изменяют пространственное расположение свариваемых кромок (вызывают смещение и угловатость кромок), что осложняет автоматизацию и роботизацию сварки, ухудшает отвод тепла от кромок, изменяет зазор в стыке.

Остаточные деформации: ухудшают товарный вид конструкции; затрудняют последующую сборку сварных узлов; затрудняют балансировку сварной конструкции; снижают точность изготовления и увеличивают объем механической обработки после сварки.

Остаточные напряжения: увеличивают накопленную в конструкции потенциальную энергию, что усиливает негативные последствия разрушения; снижают сопротивление коррозионному растрескиванию; способствуют развитию хрупкого разрушения и образованию холодных трещин.



Оборудование и технологии сварочного производства

Таким образом, напряжения и деформации, возникающие при сварке, не только увеличивают трудоемкость изготовления, но и могут существенно повлиять на ее эксплуатационные характеристики.

Несмотря на то, что при проектировании сварной конструкции должны быть приняты необходимые меры для снижения сварочных напряжений и деформаций, нередко эти меры оказываются недостаточно эффективными. Поэтому при разработке технологии изготовления сварных конструкций вопросам уменьшения и устранения напряжений и деформаций, возникающих при сварке, необходимо уделять повышенное внимание, а в случае необходимости предусматривать дополнительные технологические операции для исправления деформаций и снятия остаточных напряжений.

Основываясь на теории образования сварочных напряжений и деформаций, которая была рассмотрена при изучении дисциплины", можно выделить следующие группы методов уменьшения остаточных напряжений, деформаций и перемещений: регулирование теплового воздействия на конструкцию; сборка конструкции с учетом предполагаемых деформаций и перемещений деталей при сварке (метод компенсации); рациональная последовательность выполнения сварных швов.

Рассмотрим примеры практического использования этих методов.

Регулирование теплового воздействия на конструкцию

В процессе сварки тепло, введенное в сварное соединение, расходуется на расплавление металла и образование соединения; на нагрев участков, расположенных рядом со швом и на нагрев технологической оснастки. Из перечисленных только первая составляющая является необходимой для получения соединения. Нагрев участков, расположенных рядом со швом является неизбежным. Именно доля тепла, введенная в этот участок, определяет величину остаточных деформаций. Тепло, отведенное в технологическую оснастку, уменьшает долю тепла, пошедшего на нагрев околошовной зоны и в этом отношении может рассматриваться как средство уменьшения деформации конструкции при сварке.

Таким образом, для уменьшения сварочных деформаций необходимо стремиться к тому, чтобы уменьшить долю тепла, пошедшего на нагрев околошовной зоны.

Это может быть достигнуто использованием высококонцентрированных источников энергии для сварки, позволяющее перераспределить поступающую энергию в пользу расплавления металла и образования сварного соединения. В порядке уменьшения этой доли



Оборудование и технологии сварочного производства

различные способы сварки плавлением можно расположить в следующем порядке: газовая сварка; дуговая сварка; сварка электронным лучом; лазерная.

Второй путь – увеличение оттока тепла в технологическую оснастку (рис.3.33), что приводит к уменьшению ширины зоны пластических деформаций. С этой целью сварку рекомендуется вести на подкладках из высокотеплопроводных (например, медных) подкладках. Для увеличения интенсивности отвода тепла рекомендуется подкладки дополнительно охлаждать водой. Для достижения большего эффекта производят охлаждение, не только подкладки, но и прижимов. Этим приемом борьбы с деформациями следует пользоваться с осторожностью, т.к. при этом возрастает скорость охлаждения и увеличивается вероятность появления холодных трещин. Кроме того, если сварка производится во влажной атмосфере (например, вблизи побережья), то возможно появление пористости (особенно при сварке алюминиевых сплавов) из-за конденсации влаги на металле впереди дуги. В качестве средства борьбы с пористостью можно рекомендовать охлаждение оснастки водой, температура которой соответствует температуре окружающей среды.

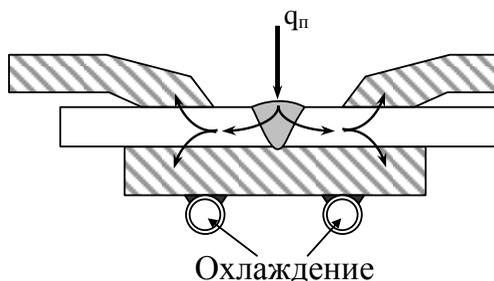
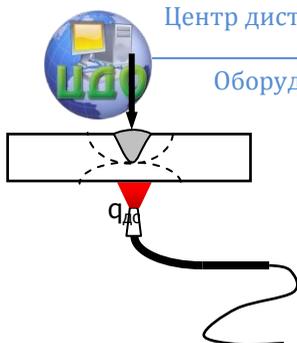


Рис. 3.33. Уменьшение сварочных деформаций за счет отвода тепла в технологическую оснастку

С целью уменьшения остаточных сварочных деформаций, обусловленных продольным укорочением шва и околошовной зоны, можно рекомендовать вместо однопроходной сварки выполнять сварку швов за несколько проходов, уменьшив тем самым величину погонной энергии. При этом следует иметь в виду, что деформации сварных соединений, обусловленные поперечным сокращением при многослойной сварке больше, чем при сварке шва с таким же поперечным сечением за один проход.

Угловые деформации сварных соединений связаны с неравномерным нагревом по толщине. Для их уменьшения применяют сварку с сопутствующим нагревом шва с противоположной стороны дополнительным источником тепла (рис. 3.34).



Оборудование и технологии сварочного производства

Рис.3.34. Уменьшение угловых деформаций за счет выравнивания градиента температур по толщине сечения сварного соединения.

К методам регулирования тепловложения можно отнести "метод теплового домкрата" (рис. 3.35).

При ремонте трещины на замкнутых конструкциях типа шкивов, зубчатых колес, маховиков из-за реакции окружающих участков детали в сварном шве могут появиться остаточные напряжения в поперечном к шву направлению и вызвать появление трещин. Для уменьшения остаточных напряжений рекомендуется перед сваркой нагреть участки детали, окружающие ремонтируемый участок (рис. 3.35а), обеспечив, тем самым, компенсацию поперечных деформаций, возникающих в зоне ремонта после сварки. Такой прием не только предотвращает появление трещин, но и позволяет сохранить геометрию обода после сварки.

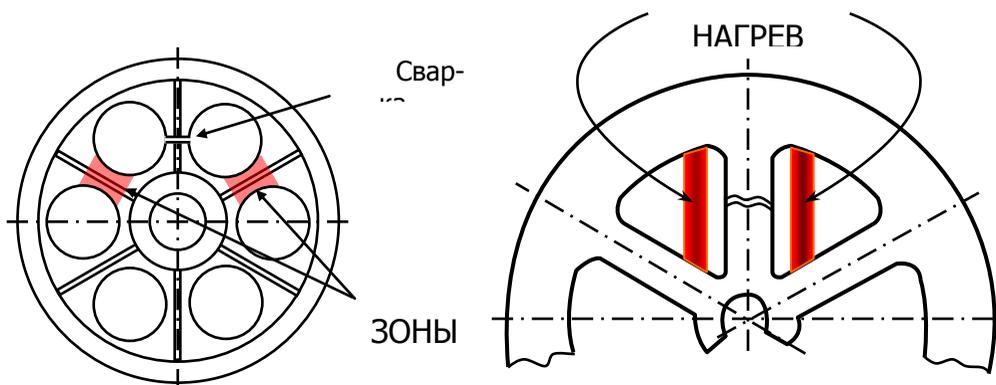


Рис. 3.35. Использование методов регулирования тепловложения для уменьшения остаточных напряжений в сварном соединении.

рию обода после сварки.

Аналогичные результаты могут быть получены путем нагрева перед сваркой специально установленных распорных элементов (рис.



3.356)

При ремонте поврежденных участков путем установки заплат для предотвращения образования больших сварочных напряжений появления трещин рекомендуется перед ремонтом нагревать угловые зоны отверстия, в котором располагается заплатка (рис. 3.36).

Компенсацию усадки швов можно осуществить не только за счет нагрева, но также за счет охлаждения некоторых зон конструкции (рис. 3.37).

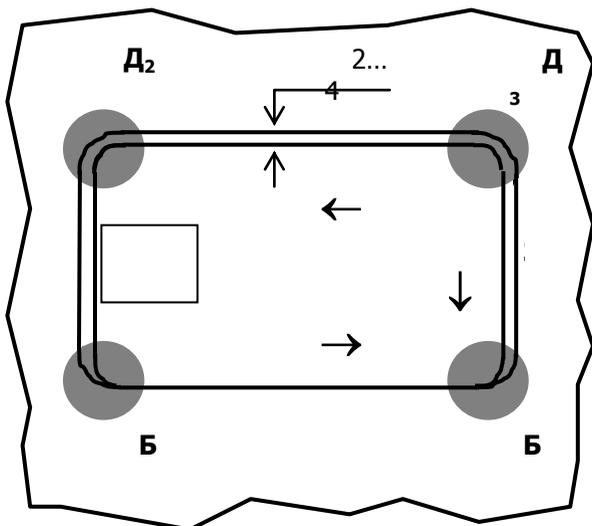


Рис. 3.36.

1, 2, 3, 4 – сварные швы, выполняемые обратн-
неступенчатым способом.

Шов 1 сваривают без подогрева.

Швы 2 и 3 сваривают с подогревом
участков Д2; Д3 до $T = 250^{\circ}\text{C}$.

Шов 4 сваривают с подогревом участ-
ков Б до $T = 250^{\circ}\text{C}$.

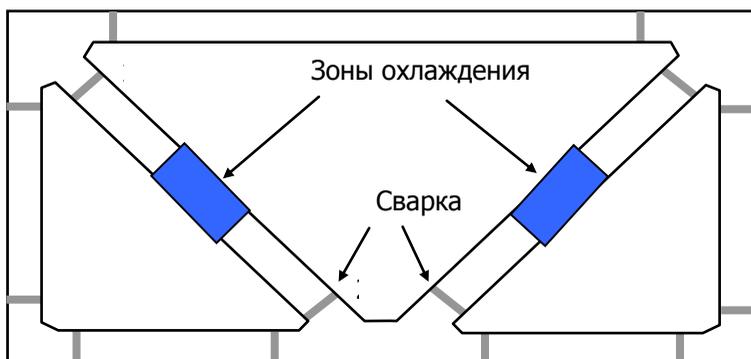


Рис. 3.37. Компенсация поперечной усадки за счет охлаждения привариваемого
элемента в жесткий контур.



При сварке швов 1 и 2 происходит поперечная усадка, что приводит к растяжению раскосы и изгибу элементов рамы (фермы). Охлаждение раскоса перед сваркой приводит к его укорочению, что позволяет при последующем нагреве его до исходной температуры компенсировать предполагаемые сварочные деформации.

Рассмотренные примеры показывают, что регулирование теплового вложения с целью уменьшения напряжений и деформаций при сварке должно быть направлено на:

- уменьшение доли тепла, идущего на нагрев околошовной зоны;
- уменьшения градиента температур в зоне сварки;
- компенсацию деформаций усадки в зоне шва за счет целенаправленного управления температурными деформациями участков конструкции, окружающих сварное соединение.

Компенсация сварочных деформаций на стадии сборки конструкции.

Если до сварки расчетным или экспериментальным путем определить величину предполагаемых сварочных деформаций, то для борьбы с остаточными сварочными деформациями на стадии изготовления сварной конструкции можно воспользоваться одним из приемов показанных на рис. 3.38...3.41.

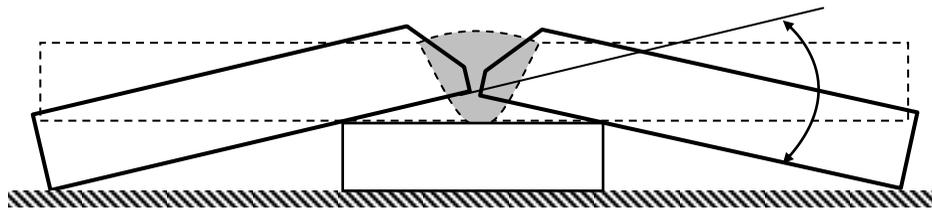


Рис 3.38. Сборка деталей с учетом предполагаемых деформаций.

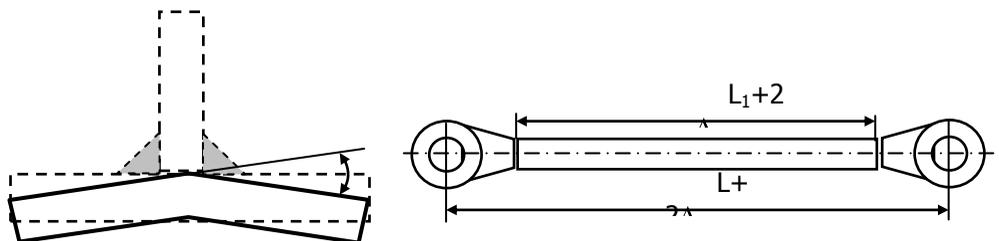


Рис. 3.39. Изготовление свариваемых деталей с учетом предполагаемых деформаций



Сборка деталей с учетом предполагаемых деформаций (рис. 3.38 и рис. 3.39), а также метод упругого деформирования отдельных деталей или всей конструкции в обратную по отношению к ожидаемым сварочным деформациям направлении (рис. 3.40), относятся к приемам, относительно легко реализуемых на практике, и часто используемых при изготовлении сварных конструкций.

Необходимо отметить, что для применения метода упругого деформирования при сварке крупногабаритных конструкций требуются мощные силовозбудители, что влечет за собой необходимость увеличения жесткости технологической оснастки (приспособлений) и ее металлоемкости, особенно, если используется метод растяжения.

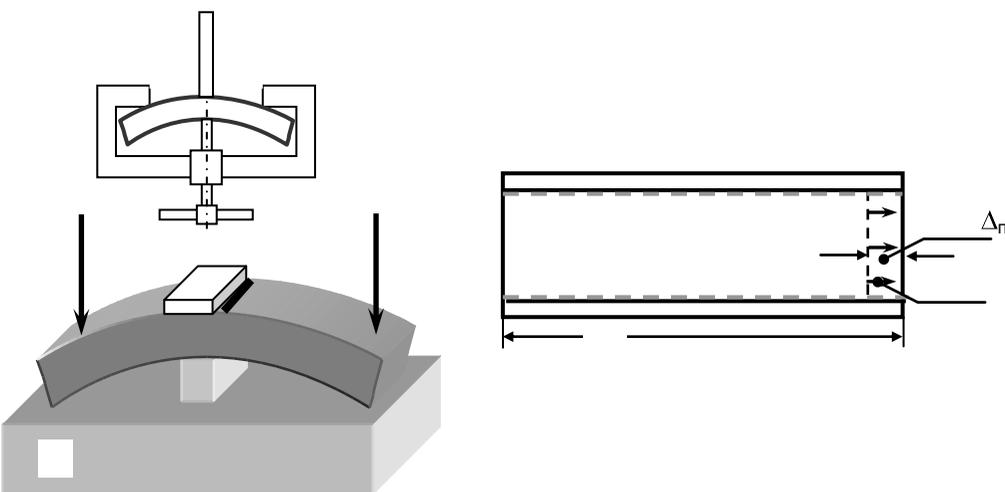


Рис. 3.40. Предварительный упругий изгиб (а) или растяжение (б) деталей,

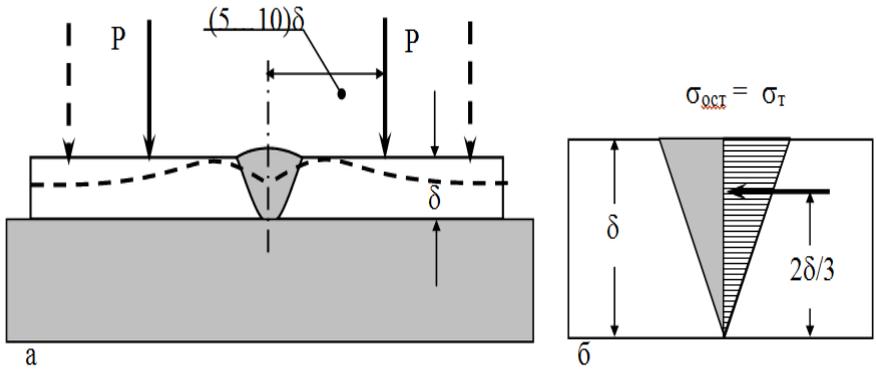


Рис. 3.41. Уменьшение сварочных деформаций за счет жесткого закрепления деталей при сварке.

В некоторых случаях уменьшению остаточных деформаций способствует жесткое закрепление конструкции без ее деформации (рис. 3.41), но следует иметь в виду, что этот метод полностью не устраняет остаточные деформации, существенные результаты могут быть получены только при борьбе с угловыми деформациями.

Точки закрепления деталей рекомендуется располагать на расстоянии 5...10 толщин детали. При меньшем расстоянии возможно образование холодных трещин. При большем расстоянии эффективность метода уменьшается, т.к. появляется возможность изгиба деталей между точками закрепления.

Усилие, необходимое для жесткого закрепления, приближенно оценить по выражению:

$$P = \left(\frac{1}{15} \dots \frac{1}{30} \right) \sigma_T \delta^2$$

где: σ_T – предел текучести материала; δ - толщина детали.



Рациональная последовательность выполнения сварных швов.

В основе всех рекомендаций в отношении рациональной последовательности выполнения сварных швов лежат два соображения:

для уменьшения остаточных деформаций необходимо стремиться к тому, чтобы деформации, возникающие при сварке последующего шва, компенсировали деформации от предыдущих швов;

для уменьшения остаточных напряжений стремиться к тому, чтобы ранее выполненные швы не препятствовали свободному протеканию деформаций, возникающие при сварке последующего шва.

Рассмотрим несколько примеров.

Сварные швы, смещенные по отношению к центру тяжести сечения, вызывают изгиб конструкции. Последовательность выполнения швов, показанная на рис. 3.42, позволяет уменьшить деформации конструкции за счет взаимной компенсации деформаций. Последующие швы должны вызывать изгиб в противоположном направлении по отношению к предыдущим. На рис. 3.42а,б последовательность швов указана номером шва. Это приведен простой пример и выбранная последовательность очевидна.

Последовательность сварки, рекомендуемая в примере на рис. 3.42в, менее очевидна, вместе с тем она основана на том же принципе взаимной компенсации деформаций. Дело в том, что при сварке швов небольшой протяженности проявляется неравномерность поперечной усадки вдоль шва (поперечная усадка в начале шва меньше, чем в той его части, где термодформационные условия стабилизировались). Неравномерность распределения поперечной усадки вдоль шва вызывает появление изгиба при сварке поперечных ребер балки. Для предотвращения этого рекомендуется сварку параллельных швов выполнять в противоположном направлении (рис. 3.41в).

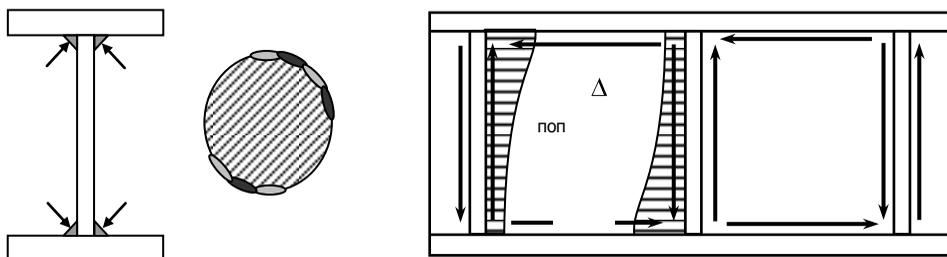


Рис. 3.42. Рекомендуемая последовательность выполнения швов для компенсации деформаций изгиба, вызванных продольным (а, б) и поперечным (в) сокращением швов.

Одинаковые по размеру швы вызывают неодинаковую величину деформации изгиба в зависимости от расположения их по отношению к центру тяжести сечения конструкции. При назначении порядка наложения швов необходимо принимать во внимание этот фактор. На рис. 3.43 приведен пример выбора последовательности выполнения швов при сварке двутавровой балки с неодинаковыми сечениями поясных элементов.

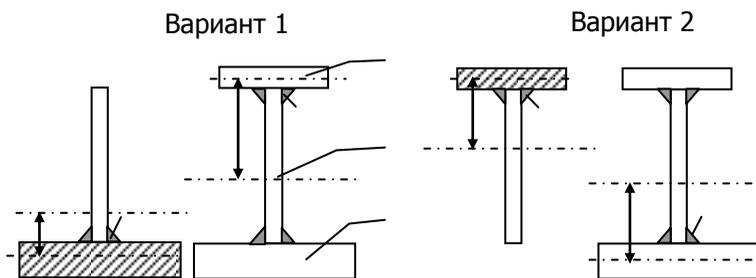


Рис. 3.43. Последовательность выполнения поясных швов при сварке балок с неодинаковыми поясами

При сборке и сварке путем последовательного наращивания конструкции первый вариант позволяет получить меньшие деформации изгиба, чем второй ($f_1 < f_2$). При сварке стенки (2) и полки (3) по варианту 1 деформации изгиба меньше, чем при сварке стенки (2) и полки (1) по варианту 2, т.к. $e_1 < e_2$. На последующем этапе, когда происходит компенсация полученных ранее деформаций, при сварке швов (а) по варианту 1 изги-



Оборудование и технологии сварочного производства

бающий момент имеет большую величины, чем при сварке швов (б) по варианту 2 т.к. $e_3 > e_4$.

Возможен третий вариант – вначале производится сборка всей балки на прихватках, затем сварка. Этот вариант обеспечивает наименьшие деформации изгиба, но при увеличении асимметрии сечения эффективность сборки и сварки по варианту 1 возрастает.

Общая рекомендация сводится к следующему: в конструкциях с большой разницей сечений соединяемых деталей, первыми сваривают между собой детали, имеющие наибольшую площадь поперечного сечения.

На рис. 3.44 и 3.45 приведены примеры выбора последовательности выполнения сварных швов, позволяющей уменьшить величину остаточных напряжений.

При сварке конструкций, содержащих продольные и поперечные швы, например, листовых полотнищ, поперечные швы должны быть выполнены прежде, чем продольные.

Различие между продольной и поперечной усадкой состоит в том, что первая равномерно распределена вдоль всего

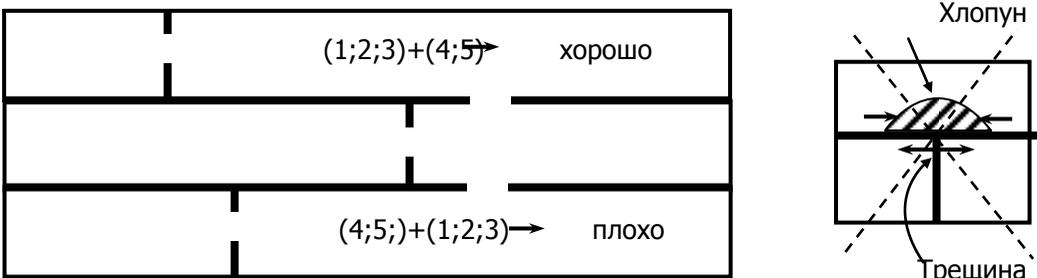


Рис. 3.44. Последовательность выполнения сварных швов при сварке по-

шва, а вторая сосредоточена на ограниченном расстоянии около шва. В связи с этим при сварке полотнищ рекомендуется в первую очередь выполнить сварку поперечных швов 1; 2; 3. В этом случае поперечная усадка протекает без препятствия со стороны остальных частей конструкции и в шве практически отсутствуют остаточные напряжения в этом направлении. Поперечная усадка швов 4 и 5 также протекает в свободном состоянии.

Если в первую очередь выполнить сварку швов 4 и 5, а затем 1; 2; 3, то поперечная усадка этих швов вызовет появление усадочных сил (рис. 3.43б) и остаточных напряжений растяжения



Оборудование и технологии сварочного производства

в шве и сжатия на участке, примыкающем к шву со стороны соседнего листа. При сварке тонколистового металла в районе действия напряжений сжатия может произойти потеря устойчивости и образуется хлопун. При сварке толстолистового металла в районе действия напряжений растяжения будут созданы условия для образования холодных трещин.

Близкая ситуация складывается в районе шва при сварке поперечных стыков балки (рис.3.45).

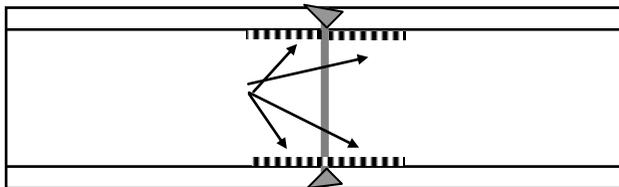


Рис. 3.45. Рекомендуемая последовательность выполнения сварных швов: 1 – 2 – 3 – 4.

Для того чтобы обеспечить свободное протекание поперечной усадки поясные швы на участке длиной 800...1000 мм оставляют не сваренными. В первую очередь производят сварку стыковых швов поясов балки 1 и 2, затем стыковой шов стенки 3. Швы 4 сваривают в последнюю очередь. Такая последовательность позволяет не только снизить величину остаточных напряжений растяжений в швах 1 и 2, но также получить в них напряжения сжатия, что способствует некоторому улучшению работы швов при эксплуатации балки.

Общая рекомендация состоит в том, что с целью снижения остаточных напряжений в поперечных швах, выбранная последовательность сварки не должна ограничивать податливость соединяемых элементов.

Некоторому снижению остаточных напряжений способствует обратно-ступенчатый способ выполнения шва (рис.3.46).

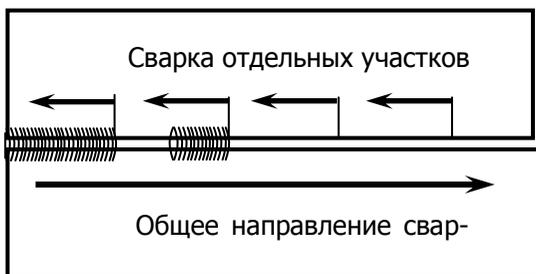


Рис. 3.46. Схема обратноступенчатого способа сварки

Этот способ рекомендуется использовать при ручной дуговой сварке. Шов разбивают на участки длиной 200...250 мм (обычно длину участка выбирают так, чтобы на его сварку требовалось затратить один электрод). Сварку каждого участка выполняют в противоположном направлении по отношению к направлению сварки всего сварного соединения.

Методы, основанные на пластическом деформировании отдельных участков сварного соединения.

Основная причина появления остаточных напряжений заключается в том, что термодформационные процессы при сварке сопровождаются пластическим укорочением металла шва и оклошовной зоны. Очевидно, что пластическое удлинение металла этих зон позволяет изменить величину остаточных напряжений и, в некоторых случаях, устранить остаточные деформации.

Существует много разновидностей метода снижения остаточных напряжений. Один из них, метод проковки металла шва молотком после каждого прохода (рис. 3.47), был предложен Н.Г. Славяновым, еще на заре освоения сварочных технологий.

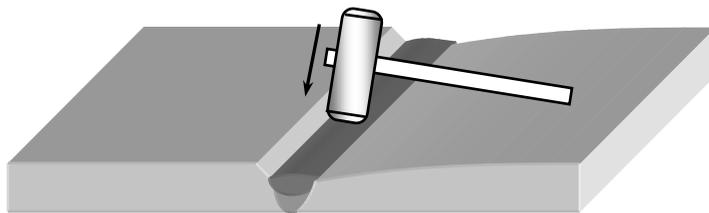


Рис. 3.47. Проковка металла шва с целью уменьшения остаточных напряжений

Пластическая деформация металла шва по толщине приводит к удлинению в двух других направлениях, в ре-



Оборудование и технологии сварочного производства

зультате чего уровень остаточных напряжений понижается. Так как эту операцию проводят вручную, практически невозможно обеспечить равномерность устранения напряжений и достаточную производительность. Кроме того, проводить эту операцию после первого прохода не рекомендуется, т.к. возможно появление трещин в корне шва. Данный метод применяется в настоящее время на монтаже при сварке толстостенных конструкций.

В 70-е годы прошлого столетия это процесс получил развитие. С помощью специальных насадок на пневматический ударный инструмент увеличили скорость деформирования и механизировали перемещение инструмента вдоль шва. При этом сохранился еще один недостаток – высокий уровень шума и была утрачена мобильность процесса.

Для тонкостенных конструкций применяют метод пластического деформирования металла шва и околошовной зоны путем прокатки этих зон между роликами (рис. 3.48).

Этот метод обеспечивает плавное равномерное деформирование металла. Параметры режима можно плавно регулировать. Повторная прокатка шва и расширение обрабатываемой зоны позволяют корректировать достигнутые результаты. Усилие, прикладываемое к роликам ориентировочно можно подсчитать по выражению:

Прокатка шва широко применяется для устранения остаточных деформаций потери устойчивости листовых и оболочковых конструкций.

Удлинение шва с целью уменьшения остаточных свароч-

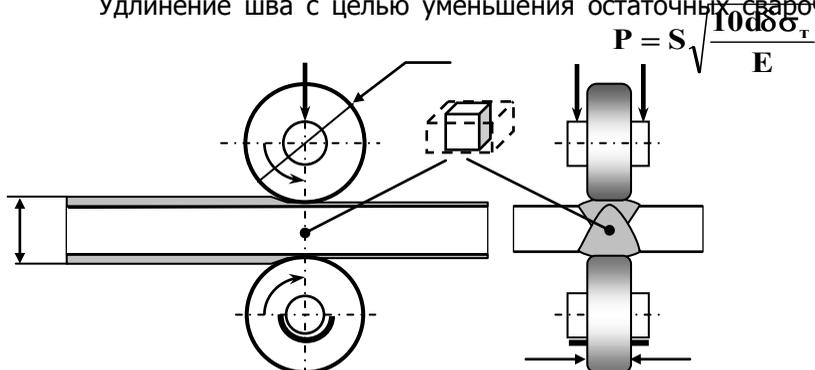


Рис.3.48. Схема прокатки шва между роликами с целью уменьшения остаточных напряжений и деформаций

ных напряжений можно осуществить, так же, за счет сил возникающих при термическом воздействии на сварную конструкцию



Оборудование и технологии сварочного производства

путем нагрева зон, параллельно шву или охлаждение шва (рис.3.49).

В первом случае (рис. 3.49а) нагрев осуществляют газовыми горелками в зонах за пределами тех зон, в пределах которых металл претерпевал пластические деформации при сварке. За счет термического расширения нагреваемых зон в шве появляются силы, которые вызывают его удлинение.

Во втором случае (рис. 3.49б) термическому сокращению металла шва препятствуют окружающий его металл, что также приводит к появлению сил, которые вызывают удлинение шва. Следует иметь в виду, что оба эти метода не позволяют полностью снять остаточные напряжения. Эти методы рекомендуется применять в тех случаях, когда остаточные напряжения достаточно понизить ниже некоторого критического уровня, как это требуется, например, для предотвращения коррозионного растрескивания сварного соединения.

Термомеханическая правка сварных конструкций.

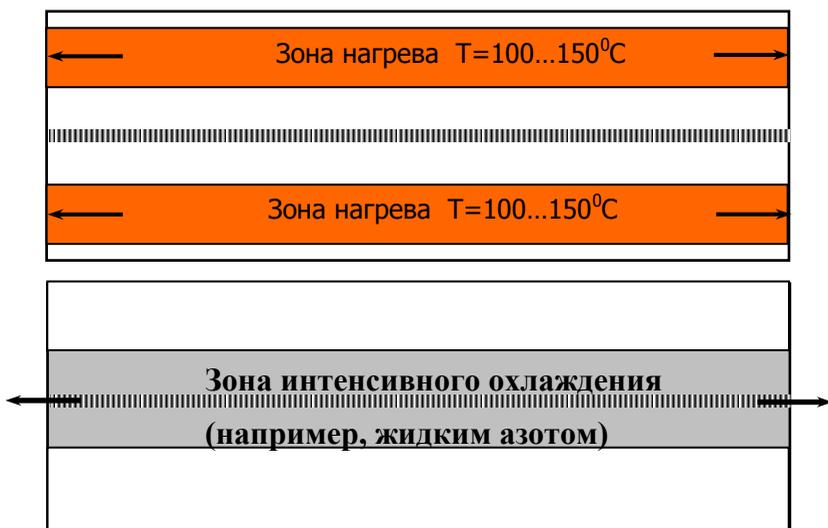


Рис. 3.49. Схема устранения остаточных напряжений за счет удлинения шва путем нагрева рядом расположенных зон (а) или охлаждения металла шва (б).

Используя закономерности образования деформаций при сварке, можно с помощью нагрева локальных участков осуществлять правку конструкций.



Оборудование и технологии сварочного производства

В основе методов термомеханической правки лежат процессы сходные с теми, которые протекают при сварке. Целенаправленное воздействие источника нагрева позволяет получить продольное и поперечное укорочение локальных участков конструкции и, тем самым, устранить искажения ее формы, полученные в процессе изготовления. Основная задача состоит в том, чтобы усадка нагреваемых участков вызвала появление деформаций, противоположных по знаку остаточным сварочным.

Рассмотрим примеры, иллюстрирующие метод термомеханической правки.

На рис. 3.50 показана сварная тавровая балка. Усадочные силы появившиеся в результате сварки, вызвали деформации изгиба. Для исправления этих деформаций можно воспользоваться продольным укорочением зоны нагрева, которую необходимо расположить выше центра тяжести сечения балки. Это прием получил название "ложный валик". Нагрев выполняют дугой или газовым пламенем.

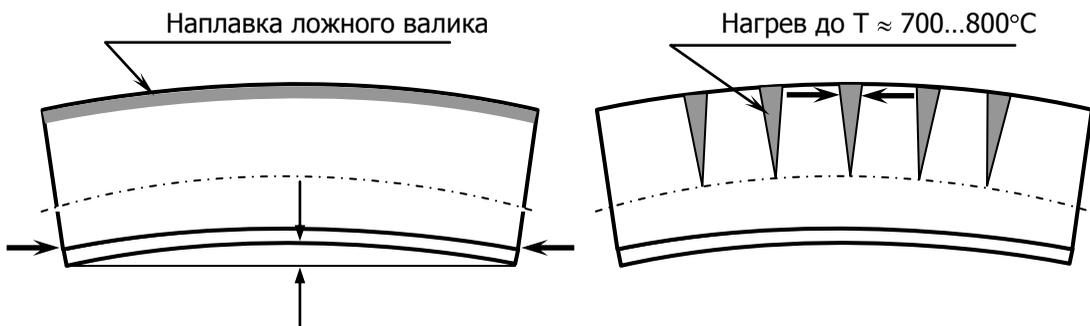


Рис. 3.50. Термомеханическая правка балочных конструкций

Такой же результат можно получить в результате поперечной усадки специально нагреваемых зон стенки балки. Поскольку поперечная усадка локализована в зоне нагрева, количество участков нагрева и их расположение выбирают так, чтобы обеспечить равномерность исправления деформаций. Для большей эффективности правки зоны должны иметь клинообразную форму и быть расположены выше оси центров тяжести сечений. Метод называют "правка нагревом клиньями".

К наиболее сложным для исправления сварочным деформациям относятся деформации местной потери устойчивости.

Под действием усадочных сил (рис. 3.51а, б) тонкостен-



Оборудование и технологии сварочного производства

ный элемент конструкции теряет устойчивость и выпучивается. Появляется избыток площади поверхности, который необходимо устранить.

С этой целью используется, так называемый, "метод нагрева пятачками". Элемент, потерявший устойчивость, нагревают отдельными зонами так, чтобы произошла усадка металла. Механизм усадки иллюстрирует рис.3.51в, г. При нагреве локальной зоны выше температуры, при которой резко снижается величина предела текучести, окружающий более холодный металл оказывает сопротивление увеличению диаметра зоны и температурное расширение вызывает появление пластических деформации в направлении толщины металла, вызывая утолщение зоны нагрева рис.3.51 г. На стадии охлаждения происходит сокращение во всех трех направлениях, в результате чего площадь поверхности сокращается.

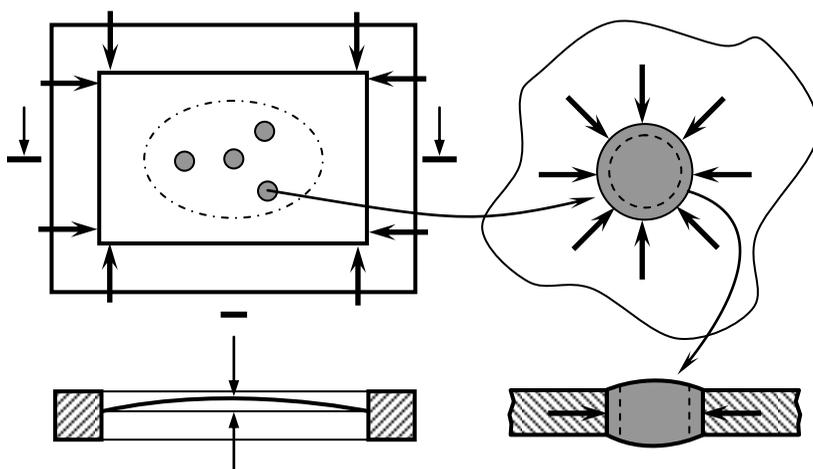


Рис. 3.51. Термомеханическая правка хлопнунов

Размет зоны нагрева по диаметры составляет 30...40 мм. При чрезмерно большом диаметре возрастает опасность появления потери устойчивости в самой зоне нагрева, поэтому желательно соседние участки принудительно охлаждать. Зоны нагрева выполняют вразброс с тем, чтобы в большей степени локализовать нагрев. Применение способа требует определенных навыков. Разновидностью данного метода является правка нагревом полос. Нагреваемые зоны ориентируют по диагоналям или в виде дуг по контуру хлопнуна на расстоянии приблизительно 1/3 от границы во



внутреннюю сторону.

Термическая обработка сварных конструкций как средство снижения остаточных напряжений.

Термическую обработку сварных конструкций проводят с целью восстановления (улучшения) механических свойств металла шва и околошовной зоны, а так же снижения уровня остаточных напряжений. Для стальных конструкций первая цель достигается применением нормализации, вторая – применением высокого отпуска. Иногда оба вида термообработки совмещают.

Снижение собственных напряжений происходит в результате их релаксации. Этот процесс, термически активируемый и его скорость зависит от температуры. К основным параметрам режима относятся: температура отпуска, максимальная температура нагрева, скорости нагрева и охлаждения, время выдержки конструкции при температуре отпуска. Температура отпуска сварных соединений низколегированных сталей составляет 580...680°C, для аустенитных сталей – 850...1050°C, для алюминиевых сплавов – 250...300°C. На всех стадиях термической обработки необходимо стремиться обеспечить минимальный градиент температур по толщине стенки конструкции. С тем, чтобы обеспечить условия для более полного протекания процессов релаксации и исключить появление новой системы собственных напряжений при быстром охлаждении.

Различают термообработку с общим, местным и поэтапным нагревом конструкции (рис.3.52).

Первый является наиболее универсальным часто используемым. Он обеспечивает наилучшие результаты в борьбе с остаточными сварочными напряжениями применительно к любым типам конструкций, но он сопровождается большими затратами энергии и времени на его выполнение.

Второй более экономичен, но применим только для простых конструкций, в основном, для конструкций типа труб с кольцевыми швами. Ширину зоны нагрева необходимо выбирать так, чтобы обеспечить плавное изменение температуры за пределами шва и околошовной зоны. Не равномерный нагрев может привести к образованию новой системы остаточных напряжений.

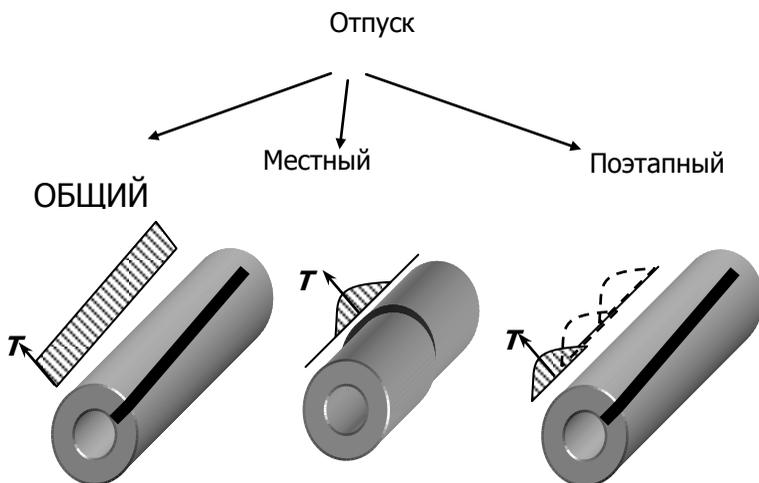


Рис. 3.52. Схемы нагрева сварных конструкций при термической обработке с целью уменьшения остаточных напряжений

Необходимо отметить, что термообработка сварных конструкций с целью снижения остаточных напряжений относится к числу затратных технологий и ее применение в каждом конкретном случае требует серьезного технико-экономического обоснования. Ее рекомендуется назначать в следующих случаях:

- когда возможно появление объемных остаточных напряжений (при толщине металла более 150 мм);
- когда возможно накопление деформаций в корне многослойного шва (число проходов $n > 5 \dots 10$, толщина металла $\delta > 30-40$ мм);
- для толстостенных рамных конструкций, когда механическая обработка конструкции может изменить распределение остаточных напряжений и повлиять на точность механической обработки;
- когда ожидают в период эксплуатации распад неустойчивых структурных составляющих и изменение точности базовых размеров;
- когда снижение остаточных напряжений не является основной целью и термическая обработка применяется для улучшения (восстановления) механических свойств металла.

Необходимо обратить внимание, что снижение остаточных напряжений в результате их релаксации при термической обра-



Оборудование и технологии сварочного производства

ботки, как правило, не устраняет остаточные сварочные деформации и если поставлена цель добиться снижения и напряжений и деформаций, то при термической обработке должны быть использованы специальные приемы.

Например, термическая обработка конструкции в закреплённом состоянии, когда перед термообработкой с помощью приспособлений конструкции придадут желаемую форму и производят термообработку в закреплённом состоянии.

Этот прием был удачно использован на заводе "Атоммаш" при изготовлении корпуса парогенератора. Корпус состоит из обечайки днищ и патрубков (рис. 3.53).

Патрубки располагались несимметрично по отношению к горизонтальной плоскости обечайки, в результате чего усадка швов между патрубками и обечайкой вызвала появление изгибающего момента. Его действие приводило к тому, что торцы обечайки, прошедшие механическую обработку, приобретали овальную форму. Это приводило к существенным затруднениям при совмещении кромок во время сборки обечайки и днища.

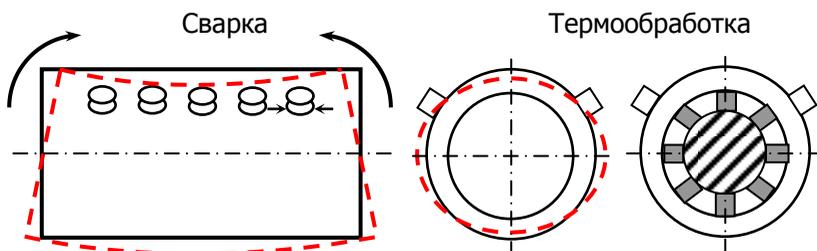


Рис. 3.53. Искривление торца обечайки в результате сварки асимметрично расположенных патрубков и схема предотвращения сварочных деформаций.

Для устранения искажения торцов обечайки был использован прием термической обработки обечайки с предварительно закреплёнными торцами. Пред сваркой цилиндрическую форму торцов обечайки фиксировали с помощью клиньев и жесткой цилиндрической оправки, что позволило сохранить правильную форму торца после сварки. Если после сварки удалить клинья, то под действием остаточных сварочных напряжений произойдет изгиб стенки обечайки и ее торцы примут овальную форму. Очевидно, что перед удалением клиньев необходимо понизить уро-



вень или снять полностью остаточные сварочные напряжения. В данном случае наиболее эффективным методом борьбы с остаточными напряжениями является термическая обработка – отпуск обечайки с торцами в закрепленном состоянии.

Рассмотренные в данном разделе методы борьбы с напряжениями и деформациями конструкции при сварке и примеры их практической реализации позволяют в большинстве случаев находить пути решения этой проблемы, но следует иметь в виду, что на стадии изготовления и тем более после сварки затраты на ее решения значительно выше, чем на стадии проектирования сварной конструкции и технологии ее изготовления.

В третьей главе рассмотрены основные операции технологического процесса изготовления сварных конструкций, общие характеристики их выполнения и применяемое оборудование. Обращено внимание на то, что качество выполнения операции сварки во многом зависит от качества выполнения других операций технологического цикла. Это означает, что при проектировании технологии изготовления сварной конструкции необходимо тщательно прорабатывать все операции в совокупности, не разделяя их на основные и второстепенные.

Специфика выполнения тех или иных операций и используемое при этом оборудование существенно зависит от конструктивных особенностей изделия, типа производства и условий изготовления (в условиях цеха, на монтаже, при ремонте). Поэтому при разработке конкретного технологического процесса изготовления рекомендуется ориентироваться на типовой технологический процесс.

Ниже, в последующих главах учебного пособия, будут рассмотрены примеры технологий изготовления для различных типов сварных конструкций.

4. ПРОИЗВОДСТВО СВАРНЫХ БАЛОК

Сварные балки широко используют в различных областях промышленности. Они входят в качестве составных элементов в сварные рамы различного назначения, каркасы промышленных зданий и сооружений, мосты, сварные суда и др. Сварные балки коробчатого сечения широко применяются в сельскохозяйственном машиностроении и при изготовлении подъемно-транспортного оборудования.

Наиболее распространенные типы сечений сварных балок показаны на рис. 4.1.

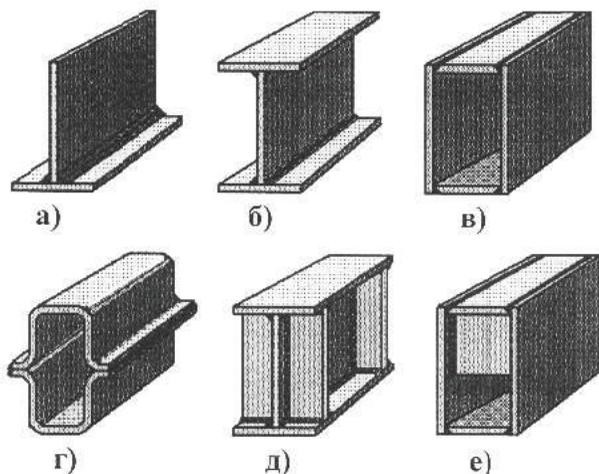


Рис. 4.1. Типы сечений сварных балок:

а – тавровое; б – двутавровое; в, г, д, е – коробчатое.

Балки первых двух типов сечений (а, б) могут быть изготовлены как с помощью сварки, так и путем горячей прокатки. По зарубежным данным себестоимость производства сварных двутавров в среднем на 10÷15 % выше, чем горячекатаных, что объясняется значительно большей (в 7÷10 раз) производительностью прокатных станков и относительно высокой стоимостью стального полосового проката. Более высокая стоимость сварных широкополочных двутавров может быть компенсирована экономией металла только на профилях высотой менее 150 мм, масса которых может быть снижена на 15÷20 % за счет утонения элементов (в ряде случаев невозможно получить путем горячей прокатки толщины элементов менее 3 мм). Стоимость оборудования прокатного производства во много раз выше, чем оборудования, необходимого для производства сварных балок. Именно поэтому экономическая эффективность производства сварных балок проявляется в тех случаях, когда требуемый объем их производства относительно невелик. К примеру, с увеличением высоты балки экономическая эффективность их производства с помощью горячей прокатки снижается потому, что увеличиваются затраты на сооружение и эксплуатацию прокатного стана, а требуемые объемы их производства сокращаются. По этой причине двутавровые балки высотой более 600÷1000 мм целесообразно изготавливать сваркой.

Изготовление с применением сварки имеет неоспоримые технологические преимущества в тех случаях, когда балки



Оборудование и технологии сварочного производства

имеют более сложное поперечное сечение или, когда сечение балки изменяется по ее длине. Важным преимуществом новых технологий является возможность изготовления элементов балки из разных марок стали, что позволяет более эффективно использовать высокопрочные стали.

Технологиям изготовления балок с помощью сварки присущи некоторые недостатки. Во-первых, неравномерный нагрев конструкции при сварке приводит к появлению остаточных деформаций, борьба с которыми часто требует существенного усложнения технологического процесса.

Во-вторых, усталостная прочность сварных балок обычно ниже, чем у горячекатаных, из-за влияния остаточных напряжений, дефектов сварки и других концентраторов напряжений. Применение 100 %-ного ультразвукового или рентгеновского контроля качества сварки приводит к удорожанию конструкции.

В-третьих, применяемый наиболее часто способ автоматической сварки под флюсом не позволяет существенно повысить производительность изготовления.

Выбор технологии изготовления сварных балок, способа сварки и применяемого оборудования существенно зависят от конструктивных особенностей, требований к изготовлению, сформулированных в технических условиях, и объема выпуска изделий, определяющего тип производства (индивидуальное, серийное, массовое).

Контроль качества в процессе производства должен включать проверку:

- основного металла на соответствие спецификации, что особенно важно в тех случаях, когда для стенки и полок используют сталь разных марок;
- заготовок на отсутствие расслоения в металле;
- наличия на заготовках маркировки и ее соответствия требованиям;
- соответствия сварочных материалов требованиям технологического процесса;
- условий хранения сварочных материалов;
- выполнения всех процедур в соответствии с требованиями технологического процесса;
- визуальный и измерительный контроль сварных соединений в процессе сварки;
- периодический контроль работы оборудования.



4.1. Технические условия на изготовление балочных конструкций

Технические условия (ТУ) на изготовление определенного типа конструкций содержат перечень требований, которые следует предъявлять к материалам, оборудованию и выполнению технологических операций на различных этапах изготовления конструкции. При составлении ТУ учитывают особенности конструкционного материала, назначение конструкции, условия ее эксплуатации, требования точности, экономические соображения и т. д. ТУ отражают опыт проектирования, изготовления и эксплуатации, накопленные в данной области производства. Основой для разработки ТУ служат различные нормативные материалы

Рассмотрим в качестве примера некоторые требования, входящие в состав ТУ на изготовление сварных балок мостов (табл. 4.1).

Требования к материалам. На рабочее место сварщика флюс и электроды должны подаваться только в просушенном или прокаленном состоянии в количестве, необходимом для работы в одной смене.

Требования к заготовительным операциям. Гибку и правку деталей в горячем состоянии выполнять в диапазоне температур от 800 °С до 1000 °С. Резка на ножницах при отрицательных температурах воздуха не допускается. Кислородная резка при отрицательной температуре воздуха должна осуществляться с подогревом металла в зоне реза до 100 °С.

Продольные кромки нижнего пояса балки после кислородной резки или резки на ножницах должны подвергаться механической обработке на глубину не менее 2 мм. Скругленные вырезы на концах вертикальных листов выполнять с обязательным сверлением в вершине угла отверстий диаметром не менее 30 мм.

Требования к сборке. Применение при сборке элементов балки прихваток в местах, где не предусмотрено в дальнейшем наложение швов, не допустимо. Перенос и кантовка краном тяжелых и крупногабаритных балок, собранных только на прихватках, без применения приспособлений, обеспечивающих неизменяемость ее формы, не допустимо. Все местные уступы и неровности на собираемых деталях, препятствующие их плотному прилеганию, необходимо устранить наплавкой либо зачисткой.

Требования к сварке. Начало и конец угловых швов, выполняемых автоматом, необходимо выводить за пределы свариваемых деталей на начальные и выводные планки. Зажигать дугу и выводить кратер на основной металл конструкции за пределы шва запрещается.



Требования точности Таблица 4.1

<p>Конструктивный параметр</p> <p>Стрела выгиба оси</p> <p>Перекос полки относительно стенки и грибовидность:</p> <p>а) в местах сопряжения с другими элементами и на опорах</p> <p>б) в местах примыкания ребер жесткости к поясам балок и прочих местах</p>	<p>Допустимые отклонения</p> <p>До 0,001 длины балки, но не более 10 мм</p> <p>До 0,005 В, но не более 1 мм (где В - ширина полки)</p> <p>До 0,01 В</p>
<p>Винтообразность элементов</p>	<p>До 1 мм на длине 1м, но не более 10 мм</p>
<p>Отклонение оси стенки от оси полки</p>	<p>До 2 мм</p>
<p>Выпучивание стенки балок с вертикальными ребрами</p>	<p>До 0,006 высоты стенки</p>
<p>Выпучивание стенки балок без вертикальных ребер</p>	<p>До 0,003 высоты стенки</p>
<p>Разность длин диагоналей коробчатых сечений:</p> <p>а) в зоне монтажного соединения</p> <p>б) в прочих местах</p>	<p>До 4 мм</p> <p>До 12 мм</p>
<p>Отклонения по длине балок цельносварных пролетных строений</p>	<p>От 0 до - 4 мм</p>
<p>Отклонение ширины поясных элементов:</p> <p>а) в зоне узлов и стыков</p> <p>б) на прочих участках</p>	<p>От 0 до -2 мм</p> <p>± 4 мм</p>
<p>Отклонение высоты балок:</p> <p>а) в зоне узлов и стыков</p> <p>б) вне зоны стыков и узлов</p>	<p>± 2 мм</p> <p>± 4 мм</p>



Все ожоги на поверхности основного металла должны быть зачищены абразивным инструментом на глубину не менее 0,5 мм. Сварку элементов балки выполнять в кондукторах-кантователях в закреплённом состоянии. Сварные швы должны иметь гладкую и равномерно-чешуйчатую поверхность. Угловые швы должны иметь плавные переходы к основному металлу.

4.2. Изготовление двутавровых и тавровых балок в мелкосерийном производстве

В условиях мелкосерийного производства заготовительные операции, необходимые для подготовки деталей к сборке и сварке балок, выполняют на специализированном участке либо в заготовительном отделении.

Для полок целесообразно использовать универсальный широкополочный прокат, не требующий обработки продольных кромок. Для стенки используют листовой прокат.

Обрезку поперечных кромок производят на гильотинных ножницах, продольных кромок – на газорезательных машинах. Для исключения деформаций целесообразно выполнять обрезку листа одновременно по двум кромкам. В большинстве случаев дополнительная механическая обработка кромок не производится. Однако иногда требования ТУ в отношении точности заготовок и качества металла кромки могут быть выполнены только путем механической строжки или фрезерования кромок.

Размеры листового проката, поставляемого металлургическими заводами, не всегда позволяют выполнять заготовку стенки балки из одного листа. Поэтому технологический процесс часто предусматривает сборочную и сварочную операции для получения листовых элементов требуемой длины и ширины. К стыковым швам предъявляются требования полного проплавления с хорошим формированием шва. Поскольку сварные швы имеют большую протяженность и простую конфигурацию для поперечных и продольных стыков применяют автоматическую сварку под флюсом на флюсовой подушке с двух сторон. Для обеспечения высокого качества соединения в начале и конце шва применяют заходные и выводные планки.

Требования точности изготовления и повышения производительности определяют целесообразность применения сборочных кондукторов. Их конструкция зависит от размера балки и объема выпуска однотипной продукции. Общим требованием к сборочному кондуктору мелкосерийного производства является возможность регулировки взаимного расположения фиксирующих



Оборудование и технологии сварочного производства

элементов с целью обеспечения выпуска балок различных размеров.

Схема одного из наиболее простых кондукторов показана на рис. 4.2.

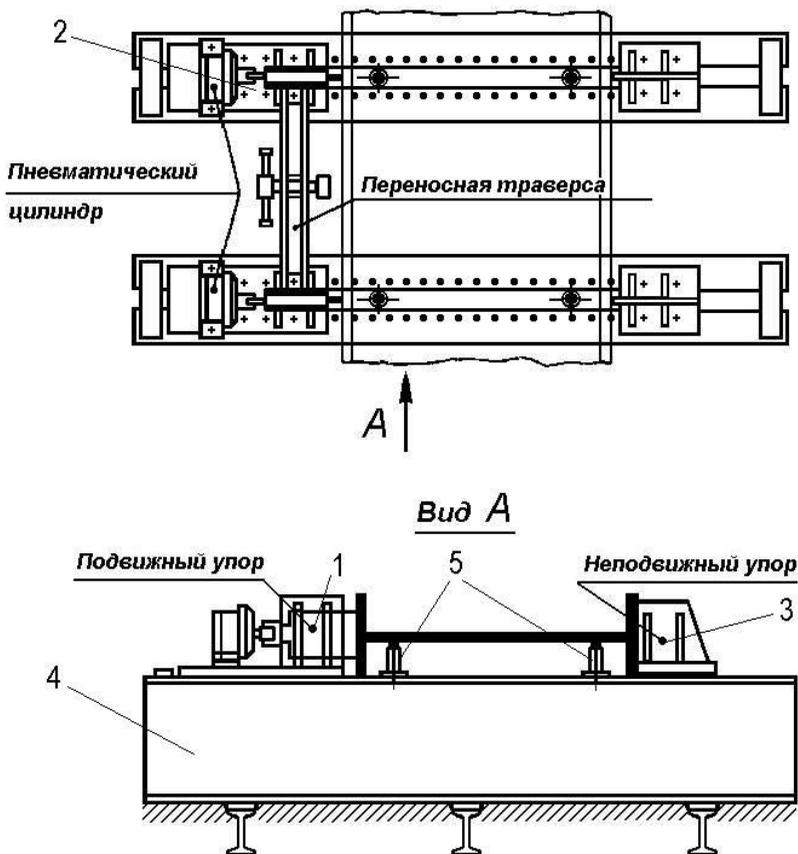


Рис. 4.2. Универсальный кондуктор для сборки балок.

Он состоит из основания 4, выполненного в виде ряда балок, расположенных параллельно на расстоянии $1,5 \div 3$ м, и системы упоров 3 и прижимов 1, фиксирующих заданное чертежом взаимное расположение деталей. Подача длинных и гибких элементов балки в кондуктор осуществляется мостовым краном с помощью жесткой траверсы с захватами. Вертикальную стенку ук-



Оборудование и технологии сварочного производства

ладывают на регулируемые упоры 5, затем устанавливают полки и, перемещая все детали до упора 3 с помощью пневмоприжима 1, осуществляют плотное прижатие деталей друг к другу.

Обеспечение взаимной перпендикулярности стенки и полки требует поступательного перемещения зажимающего элемента. Это можно осуществить либо путем жесткого крепления прижимов к штоку пневмоцилиндра (что нежелательно по соображениям прочности штока), либо применением для прижима прямолинейных направляющих 2 (в последнем случае необходимо обеспечить шарнирное крепление прижима к штоку цилиндра). При необходимости поясной лист может быть прижат к стенке дополнительно с помощью винтового прижима, расположенного на переносной траверсе 6.

Настройка кондуктора на сборку балок заданной высоты осуществляется путем перемещения упоров 3, при изменении ширины полок производят регулировку упоров 5. В более совершенных кондукторах прижимы размещают на порталах, перемещающихся вдоль собираемой балки. Обычно в кондукторе производят временное соединение элементов балки на прихватках, а сварку поясных швов выполняют вне кондуктора.

При изготовлении двутавровых балок основной сварочной операцией является выполнение поясных швов. Повышение эффективности производства балок непосредственно зависит от производительности сварки. Приемы и последовательность выполнения поясных швов могут быть различными. Сварка "в угол" (рис. 4.3а) позволяет одновременно сваривать два шва противоположных полок, но из-за опасности появления подрезов станки или полки скорость дуговой сварки под флюсом при данном методе обычно не превышает 60 м/ч. При сварке "в угол" полки свариваемой балки могут быть использованы в качестве направляющих для копирования траектории движения сварочной головки, что позволяет сваривать балки с переменным по длине сечением (рис. 4.3в).

Выполнение швов «в лодочку» обеспечивает лучшее формирование шва, но требует установки стенки балки под углом 45° и кантовки изделия после сварки каждого шва (рис. 4.3б).



Рис. 4.3. Сварка поясных швов балки в положениях "в угол" (а) и "в полочку" (б)

Балки сравнительно малых размеров (высотой до 2, длиной до 12 м) обычно собирают на прихватках в кондукторе и переносят для сварки в кантователи.

Наибольшее распространение получили два типа кантователей: цепной и цапфовый. Цепной кантователь (рис. 4.4) состоит из нескольких фасонных рам 5, расположенных параллельно друг другу с шагом 2÷3 м. На каждой раме смонтированы три звездочки 1, 4, 6, причем одна из них (например, 6) соединена с приводом, а две – холостые. Свариваемую балку 3 укладывают на повисающую цепь 2 и кантуют на требуемый угол путем перемещения цепи. Цепной кантователь целесообразно применять для балок небольшой высоты с широкими полками. С увеличением высоты стенки и уменьшением ширины полки кантовка осложняется. Следует иметь в виду, что цепной кантователь не обеспечивает жесткого и неизменного фиксирования положения балки в пространстве и поэтому, во избежание смещения сварочной дуги относительно кромок детали сварку целесообразно производить автоматом, перемещающимся непосредственно по свариваемому изделию.

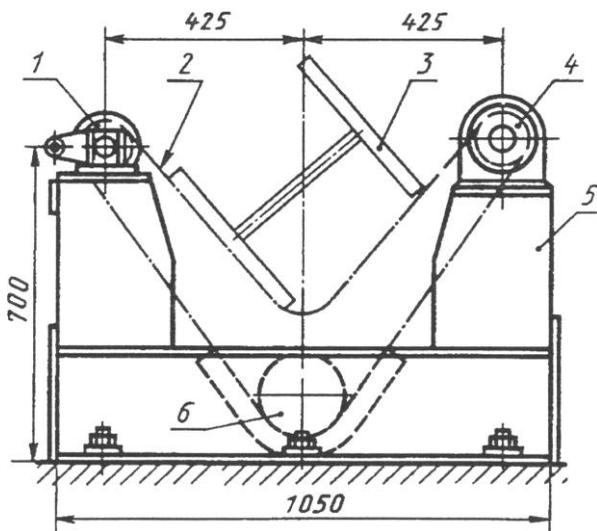


Рис. 4.4. Цепной кантователь.

Более высокую производительность обеспечивают подвесные сварочные автоматы, перемещающиеся вдоль изделия на велосипедной тележке, на портале и др. Такие автоматы требуют строгой фиксации пространственного расположения балки. В этом случае для поворота изделия применяют двухстоечный цапфовый кантователь (рис. 4.5). Внутри одной из стоек 3 размещен привод 4 вращения цапфы. Вторая стойка 1 установлена на тележке, перемещающейся вдоль рельсового пути, что позволяет использовать кантователь для балок 2 различной длины. Цапфа на второй стойке закреплена в подшипниках. На цапфах устанавливают приспособления для закрепления концов балки. Обычно используют винтовые прижимы, реже – пневматические. В отличие от цепного кантователя, цапфовый поддерживает балку только в двух точках. Поэтому его не рекомендуется применять для балок большой длины и малой жесткости, так как чрезмерный прогиб изделия под собственным весом приводит к увеличению вылета электрода и может повлиять на качество сварки.

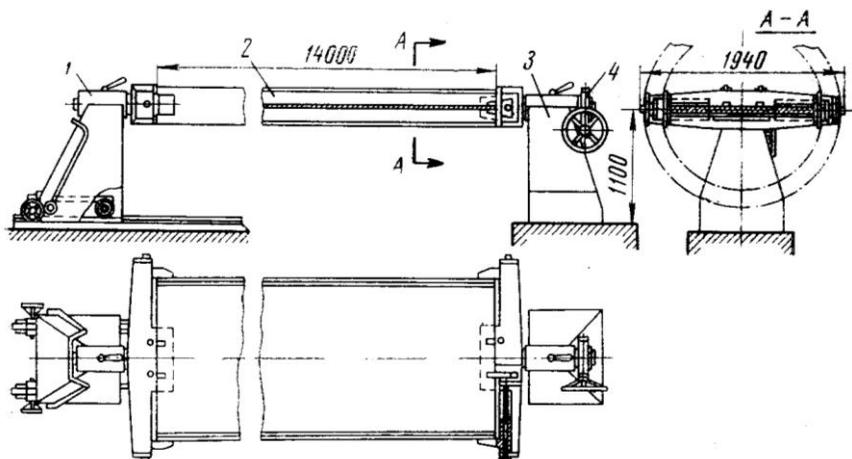


Рис. 4.5. Цапфовый кантователь.

Традиционно для изготовления сварных балок используют листовой (для стенки) и полосовой (для полок) прокат. Появление на рынке широкополочного с параллельными кромками двутаврового и таврового профильного проката расширяет возможности выбора исходных заготовок для изготовления сварных балок.

Например, как показано на рис.4.6 на базе широкополочного проката можно организовать выпуск двутавровых балок большой высоты нестандартного размера.

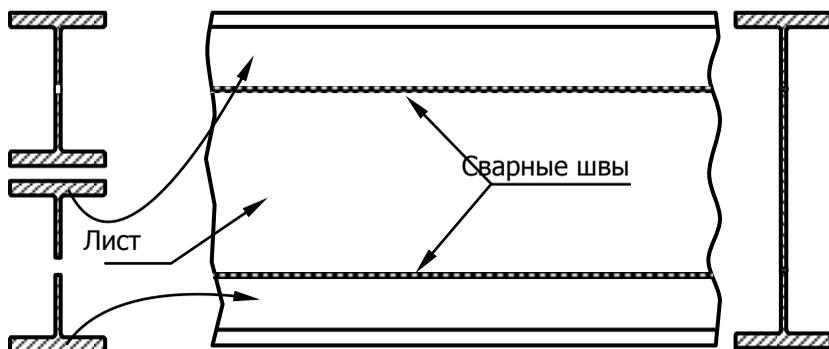


Рис. 4.6. Технологическая схема изготовления двутавровой балки из прокатных широкополочных двутавров

Балку, полученную прокаткой, разрезают вдоль продольной оси и между полученными балками таврового сечения раз-



Оборудование и технологии сварочного производства

мещают и сваривают двумя стыковыми швами лист, требуемого размера.

Данная технология вполне доступна для индивидуального и мелкосерийного производства.

Высоту прокатной балки можно увеличить используя технологическую схему рис. 4.7.

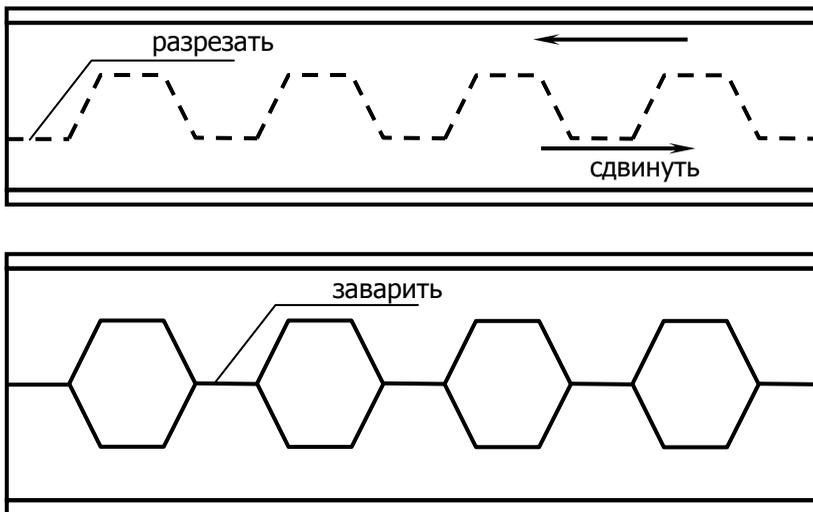


Рис. 4.7. Увеличение высоты балки без увеличения ее металлоемкости; а – схема разрезки двутавровой прокатной балки, б – схема сварки.

В балках большой высоты для повышения местной устойчивости часто предусматривается система поперечных или продольных и поперечных ребер жесткости. Большинство ТУ предписывают устанавливать непрерывные продольные ребра жесткости и прерывистые поперечные. Для сварки продольных ребер используют сварочные автоматы. В тех случаях, когда продольные ребра допускается прерывать, их присоединение к поперечным ребрам должно быть выполнено с полным проваром сечения ребра.

Перед постановкой поперечных ребер жесткости производят исправления грибовидности и перекоса балки полки до заданной ТУ величины. Механическую правку грибовидности выполняют стационарными или передвижными правильными станками. Стационарные станки имеют более высокую производительность, но использование их требует большей производственной площади. Они чаще применяются для сравнительно коротких балок. Для балок большей длины чаще используют правильные



станки, перемещающиеся непосредственно по балке.

Для фиксации положения поперечных ребер применяют переносные приспособления с вакуумными или магнитными прижимами.

Опорные ребра, требующие более точного размещения на балке, устанавливают и приваривают в последнюю очередь, то есть после сварки всех остальных ребер. Это позволяет исключить влияние сварочных деформаций на точность их установок.

Если проектом предусмотрена плотная подгонка поперечных ребер жесткости к двум полкам, то их целесообразно изготавливать короче высоты стенки балки на $16 \div 20$ мм. Одну сторону ребра, предварительно отфрезерованную под прямым углом, поджимают к поясу, а между вторым торцом ребра и поясом плотно устанавливают, специально изготовленную штамповкой, прокладку («сухарь»). Бригада сборщиков имеет набор «сухарей», что позволяет компенсировать отклонения высоты балки без индивидуальной подгонки ребер жесткости.

Если проектом предусмотрена частая расстановка поперечных ребер, трудоемкость сварки ребер и поясных швов становится соизмеримой. В мелкосерийном производстве применение автоматической сварки только поясных швов не даёт существенного эффекта и балки с часто расположенными ребрами целесообразно изготавливать методом свободной сборки с последующей полуавтоматической сваркой ячеистым способом. Во избежание появления деформаций изгиба, сварку соседних поперечных ребер производят в противоположных направлениях (рис. 3.42 в). Такая рекомендация связана с тем, что поперечная усадка сварного соединения, присоединяющего ребро, в конце шва имеет большую величину, чем в начале. Сварка отдельными ячейками обеспечивает фиксирование взаимного расположения элементов балки, исключает во многих случаях операции правки грибовидности, а при изготовлении тавровых балок позволяет уменьшить деформации изгиба продольной оси.

4.3. Изготовление балок в крупносерийном производстве

Увеличение объема выпуска однотипной продукции делает экономически целесообразным применение более дорогого специализированного оборудования, обеспечивающего высокую механизацию работ и значительное повышение производительности труда. В крупносерийном производстве получили развитие две технологические схемы.

Первая предполагает выполнение всех или большинства



операций в одном агрегате. Достоинством такой схемы является совмещение выполнения операций во времени. Недостатком является сложность конструктивного исполнения, сравнительно узкая специализация станка и, как правило, неполный охват всего технологического процесса.

Вторая схема предполагает расчленение технологического процесса на операции и выполнение каждой операции на отдельных специализированных станках, связанных между собой транспортирующими устройствами. Достоинством такой схемы является возможность комплексной механизации и автоматизации всего технологического процесса, включая заготовительные операции, а недостатком – сравнительно большая производственная площадь.

Схема совмещения операций в одном агрегате.

Примером реализации первой технологической схемы является установка для сварки тавровых балок, получившая широкое распространение в судостроении (рис. 4.8). С помощью крана или вручную в установку закладывают заготовки стенки и полки. Их взаимная ориентация осуществляется системой роликов 1, 2. Устранение зазора между полкой и стенкой и привод продольного перемещения балки производится с помощью роликов 3, 4. Концы балки поддерживаются регулируемыми опорами 5, которые перемещаются вдоль сварочной установки вместе с балкой. Высота поддерживающих роликов (на стойках 5) в процессе сварки автоматически корректируется так, чтобы не препятствовать ролику 3 плотно прижимать стенку к полке, и вместе с тем обеспечивать горизонтальное расположение полки в месте сварки. Благодаря возможности корректировать высоту стоек 5 установка позволяет сваривать криволинейные балки. Сварка поясных швов осуществляется двумя автоматами одновременно с двух сторон. Существующие установки, позволяют сваривать балки длиной не менее 1,5 м, имеющие высоту стенки не более 800 мм и радиус кривизны не менее 2,5 м. Сварка длинных, криволинейных тавровых балок затруднена. Станок оставляет не сваренную концевую часть шва на длине около 200 мм, обычно её заваривают вручную.

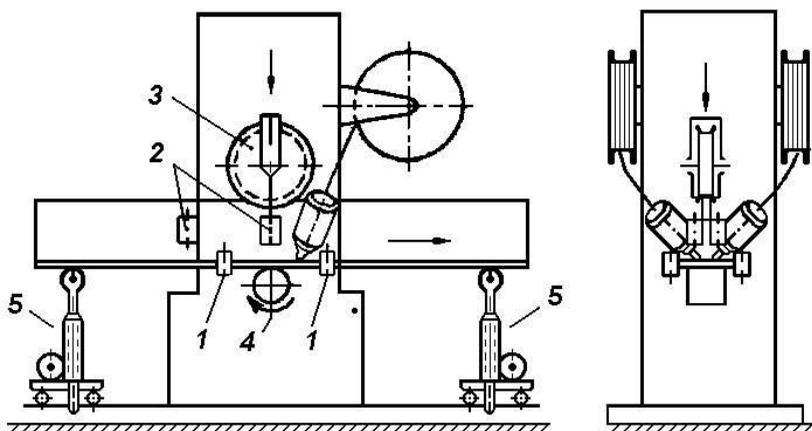


Рис. 4.8. Станок-автомат для сварки тавровых балок.

При втором пропуске через установку можно приваривать второй пояс для образования двутавровых балок.

По данной схеме фирма ЭСАБ выпустила новую машину для сварки балок IT-100 Automatic¹⁴. Она обеспечивает высокопроизводительное автоматическое изготовление сварных балок для судостроения и других отраслей промышленности.

На подающем конвейере происходит автоматическое центрирование заготовок стенки и полок. Установка включает встроенное устройство для исправления деформаций изгиба с индуктивным нагревом, что исключает дополнительные затраты времени на отдельную операцию правки балки после ее сварки.

До и после сварочной машины располагаются различное оборудование и устройства:

- Подающий конвейер, обычно располагающийся после резательной машины.
- Шлифовальное устройство и дробеструйная установка.
- Устройство (стенд) подъема стенки.
- Устройство (стенд) центрирования положения стенки (по мере продвижения к сварочной машине).
- Машина сварки балок таврового профиля с вспомогательным оборудованием.
- Входной конвейер с возможностью регулирования положения сваренной балки по высоте.

¹⁴ H. Kaufmann, Efficient production of Stiffeners for Shipbuilding, Svetsaren Vol. 58, No.1, 2003, p. 9-15.



Оборудование и технологии сварочного производства

- Охлаждающее устройство.
- Правильное оборудование.
- Дробеструйная установка.
- Грунтовочная камера.
- Установка для вырезки отверстий и выемок.
- Централизованная система управления.

Для того чтобы современное производственное оборудование могло эффективно работать в условиях автоматизированного производства, оно должно быть гибким. Для этого очень важно, чтобы все устройства и установки системы были интегрированы в централизованную компьютерную систему.

Точность подающего конвейера напрямую влияет на качество и точность готовой балки. Балка поддерживается и подается через сварочную машину в точно ориентированном положении с помощью горизонтальных и вертикальных роликов входного конвейера (рис. 4.9).

Подъемное устройство (секция) подающего конвейера располагает заготовку стенку балки точно посередине заготовки полки и в таком положении подает их к сварочной машине. Далее стенка с полкой проходят комплект первых вертикальных подающих валков и останавливаются. Измеряется реальная ширина полки, и эти данные передаются в систему управления сварочной машины.

Автоматическое центрирующее устройство располагает стенку балки всегда посередине полки, даже в том случае, когда ширина полки изменяется по ее длине.



Рис. 4.9. Входной (подающий) конвейер.



Перед поступлением в сварочную машину (рис. 4.10), во время прохождения заготовки балки через три пары центрирующих валков, осуществляется окончательное продольное центрирование заготовки балки. Скорость подающего конвейера синхронизирована со скоростью сварки балки сварочной машиной, контролируется системой управления машины.



Рис. 4.10. Машина для сварки балок таврового профиля

Все предварительно выбранные параметры для машины, например, размеры балки и соответствующие сварочные параметры, вводятся оператором или вводятся из базы данных системы планирования производства. Поэтому имеется возможность сваривать тавровые балки различного размера без остановки действующего производства.

Балка сваривается без предварительной прихватки стенки с полкой.

Сварка начинается и заканчивается за 5 мм, соответственно, до начала и конца балки, что гарантирует эффективное использование материала заготовок балки.

Все внешние устройства соединены с блоком управления. Блок управления имеет возможность связываться через модем с внешними удаленными системами проверки и управления, что позволяет использовать различные программы и пользоваться



Оборудование и технологии сварочного производства

внешней помощью при диагностике и обслуживании блока управления.

Блок управления оборудован также встроенной системой мониторинга качества. Осуществляется постоянный мониторинг таких параметров, как осевое положение, скорость сварки, отклонения величин тока и напряжения. При выходе параметров за допустимые пределы раздается предупредительный сигнал.

IT-100 Automatic имеет также систему слежения за расходом сварочных материалов: за некоторое достаточное время до необходимости пополнения флюса или проволоки подается предупредительный сигнал.

Важным новшеством является возможность выпуска прямых балок таврового сечения с высокой степенью точности и повторяемости без необходимости проведения «послесварочной» процедуры правки. Исправление сварочных деформаций изгиба, неизбежно появляющихся вследствие того, что швы смещены относительно центра тяжести сечения балки, осуществляется в процессе ее сварки, что исключает необходимость ручной правки.

Для устранения остаточных деформаций использован один из методов термической правки – метод наложения "ложного валика". Одновременно с выполнением сварки с помощью индуктора нагревают узкую полосу металла в верхней часть балки, аналогично тому, как это делают при использовании метода "ложного валика". При остывании усадка участка, нагретого индуктором, компенсирует действие усадочной силы от сварки поясных швов. Применение индукционного метода нагрева имеет несколько достоинств:

- Концентрированный нагрев увеличивает эффективность правки.
- Меньший риск перегрева поверхности.
- Бесшумность процесса.
- Непосредственный нагрев металла балки и меньшие потери на нагрев окружающего воздуха.
- Отсутствие токсичных газов.
- Возможность контроля и автоматического (программируемого) регулирования величины тепловложения.

Индукторы располагаются по обеим сторонам стенки балки, у направляющих роликов.

При сварке на больших токах факторами, ограничивающими скорость сварки, являются повышенная вероятность образования подрезов и магнитное дутье дуги. Применение нескольких проволок позволяет удлинить участок введения тепла, что



Оборудование и технологии сварочного производства

обеспечивает возможность увеличения скорости сварки без образования подрезов. Лучшим способом исключить или уменьшить дутье дуги является сварка тандемом.

В машине используется сварка под флюсом двумя парами сварочных головок, расположенных по обеим сторонам стенки балки (рис. 4.11).

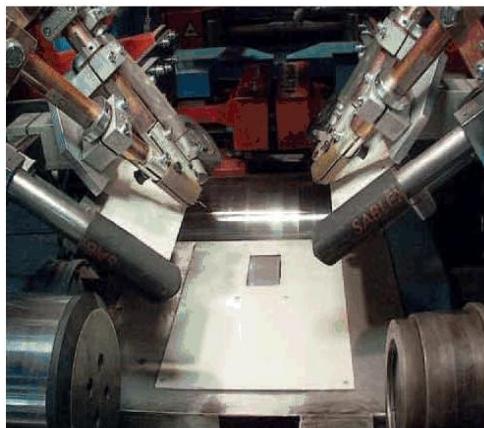


Рис. 4.11. Расположение сварочных головок постоянного и переменного тока в машине для сварки балок таврового профиля

Одна из головок производит сварку на постоянном токе – другая на переменном. Головка постоянного тока является ведущей; головка переменного тока – ведомой. Расстояние между проволоками – 12 мм.

При такой технике легко достигается скорость сварки, равная 1 м/мин.

Каждая сварочная головка точно устанавливается в нужном пространственном положении при помощи суппортов со шкалами. Бобины с проволокой (масса – 365 кг) установлены на платформе над сварочной машиной. Все механизмы подачи проволоки оборудованы устройствами правки проволоки с установочными шкалами, позволяющими при замене проволоки быстро произвести нужные установки.

Для качественной высокоскоростной сварки большое значение имеет чистота поверхности свариваемых заготовок балки. Они не должны иметь окалины и ржавчины. Для очистки применяют шлифовку или дробеструйную обработку.



Оборудование и технологии сварочного производства

Машина для сварки балок IT-100 Automatic за счет высокой степени автоматизации одновременно увеличивает производительность и улучшает качество продукции.

Схема расчленения технологического процесса на операции.

В качестве примера практической реализации второй технологической схемы рассмотрим (рис. 4.12) схему поточной линии завода им. Бабушкина (г. Днепропетровск).

Со склада металла листы стенки подают мостовым краном на рольганг 1. В случае если стенка балки составляется из двух листов, то на рольганге 1 производится обрезка торцов кислородной резкой и автоматическая сварка стыка стенки на флюсовой подушке с магнитным прижимом. Сваренные листы рычажным кантователем 2 кантуются на рольганг 3, где производят сварку стыка стенки с противоположной стороны. После правки в листо-правильных вальцах 4 заготовка стенки с помощью магнитных манипуляторов 6, рольганга 5 и специальных направляющих тележек, проходит дисковые ножницы 7, обеспечивающие проектный размер высоты стенки, подвергается очистке кромок под сварку и подается в питатель 11.

Для полок используются универсальный прокат (полосовой прокат), для которого не требуется обработка продольных кромок. Заготовки полок имеют длину, равную длине свариваемой балки. С помощью мостового крана их укладывают на рольганг 8 и подают в листо-правильную машину 9. Далее, на рольганге 10, производят зачистку средней части полки под сварку и мостовым электромагнитным краном передают их в питатель 11. Поворотное устройство питателя устанавливает полки вертикально, обеспечивая предварительную ориентацию деталей балки. Затем полки вместе с горизонтально расположенной стенкой балки поступают на сборочный стан 12. Питатель выполняет, также, функцию накопителя заготовок, что обеспечивает возможность синхронизации работы заготовительного отделения и сборочно-сварочного.

Все операции в сборочном стане механизированы. При сборке двутавровых балок большой высоты в сборочном стане предусмотрено устройство для предварительного растяжения стенки с целью предотвращения образования деформаций потери устойчивости после сварки (см. раздел 3.4, рис. 3.40б)

Пояса и стенку балки соединяют непрерывными сборочными швами малого размера (ниточными швами). Это позволяет не предъявлять жесткие требования к величине зазора и выпол-



Оборудование и технологии сварочного производства

нять сварку с увеличенными зазорами, без опасения появления прожогов, кроме того, непрерывный сборочный шов способствует лучшему удержанию стенки в растянутом состоянии по сравнению с прихватками. Два сборочных ниточных шва у обоих поясов выполняют одновременно в положении «в угол» автоматической сваркой под флюсом при скорости сварки до 144 м/ч.

Из сборочного стана собранная балка поступает на рольганг 13 где производится удаление шлака и приварка выводных планок в виде тавриков. Затем электромагнитный кантователь 14 кантует балку на 180° с тем, чтобы первый основной шов был выполнен с противоположной стороны по отношению к прихваточному шву. Такая последовательность позволяет получить симметрию деформации грибовидности полки, что облегчает операцию правки.

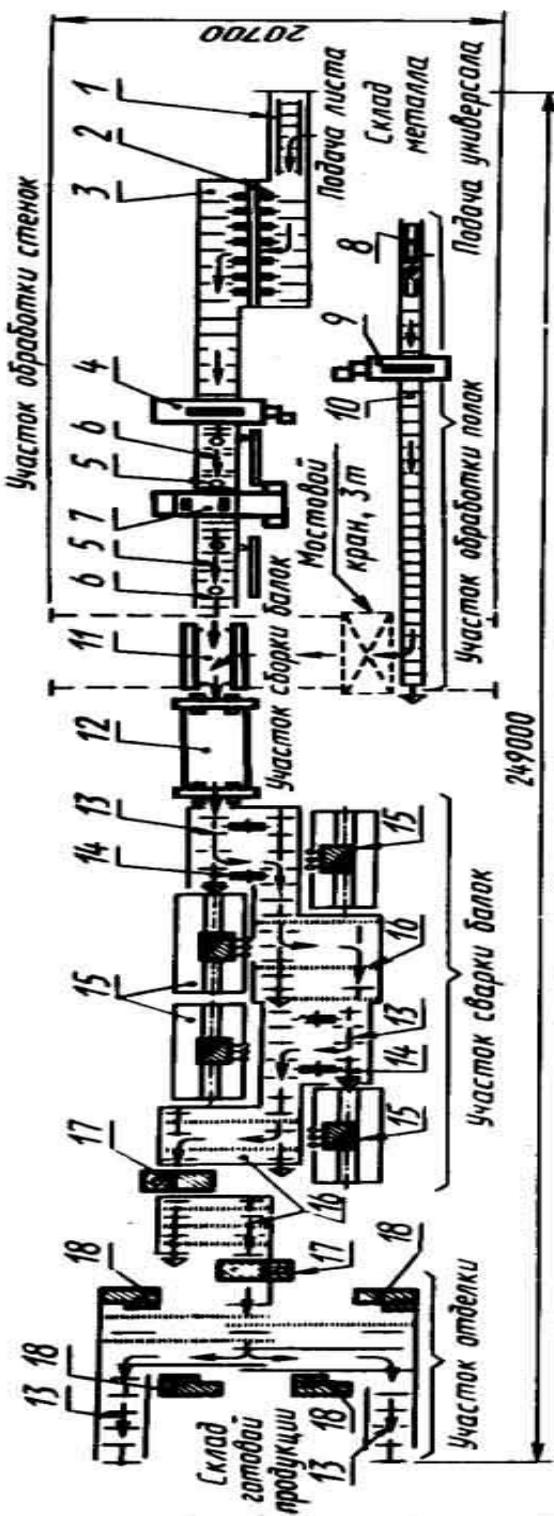


Рис. 4.12. Поточная линия производства сварных двутавровых балок на заводе им. Бабушкина:
1 – станки для обрезки торцов стенок и полок; 2 – рычажный кантователь листов; 3 – автоматы для сварки стыка стенки; 4 – листоправильные вальцы; 5 – магнитный манипулятор; 6 – устройство для очистки стенок и полок; 7 – дисковые ножницы; 8 – станки для обрезки торцов стенок и полок; 9 – листоправильная машина; 10 – устройство для очистки стенок и полок; 11 – питатель сборочного стана; 12 – специальный сборочный стан; 13 – установка для очистки швов; 14 – электромагнитный кантователь; 15 – сварочные многодуговые установки; 16 – подъемный рольганг подачи двутавров; 17 – машина для правки; 18 – торцефрезерный станок



Оборудование и технологии сварочного производства

Сварка поясных швов выполняется последовательно на четырех рабочих местах 15. Передвижение балки с одного рабочего места на другое полностью механизировано с помощью рольгангов и поперечных конвейеров. Перед сваркой на каждом рабочем месте двутавровая балка устанавливается в положение «в лодочку» и сваривается трехдуговым автоматом под флюсом со скоростью 90÷120м/ч.

При сварке основных швов полностью переплавляют сборочные.

На начальном и завершающем участках сварного шва процесс сварки осуществляется последовательным включением и отключением отдельных дуг с синхронным изменением скорости сварки. Это позволяет значительно сократить размеры участка нестабильного формирования шва в начале сварки и кратера в конце шва при сохранении высокой скорости сварки основной части и сократить размеры выводных планок до 150÷200 мм.

После сварки балку подают на последовательно расположенные машины для устранения сварочных деформаций – грибовидности полок по схеме, показанной на рис.4.13. Устранение грибовидности полок производится за счет пластической деформации металла, поэтому для устранения упругого последействия полку необходимо изгибать на некоторый угол в противоположном направлении. С этой целью правильные валки имеют конусность.

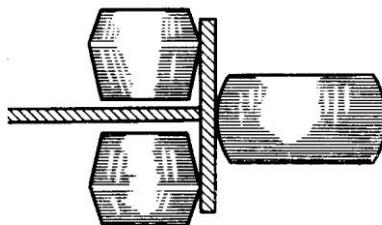


Рис. 4.13. Правка грибовидности.

Затем, после исправления сварочных деформаций производят обработку торцов балки на скоростных торцефрезерных станках, при необходимости выполняют сверление монтажных отверстий, производят нанесение защитного покрытия (грунтовку) и передают на склад готовой продукции.

Поточная линия завода им. Бабушкина представляет интерес, во-первых, как пример комплексной механизации всего процесса производства крупного сварного изделия, а во-вторых,



оригинальным конструктивным решением оснастки сборочного и сварочного участков. Более подробно с конструктивными схемами оборудования для сборки и сварки балок можно познакомиться в атласе под редакцией С.А. Куркина¹⁵.

На примере поточной линии завода им. Бабушкина видно, что производительность изготовления балок ограничена допустимой скоростью сварки. Применение дуговой сварки под флюсом позволяет изготавливать балки со скоростью не более 150÷180 м/ч, что в 5÷7 раз меньше скорости и прокатки на универсальных балочных станах. Поэтому технологии производства балок, основанные на применении дуговой сварки, не могут по производительности с прокатным производством.

4.4. Изготовление балок с применением сварки токами высокой частоты

Опыт применения контактной сварки токами высокой частоты, накопленный в трубной промышленности нашей страны и за рубежом, свидетельствует о возможности повышения производительности изготовления сварных балок как минимум на порядок. Схема сварки двутавровых балок с использованием нагрева участков сварки токами высокой частоты показана на рис. 4.14.

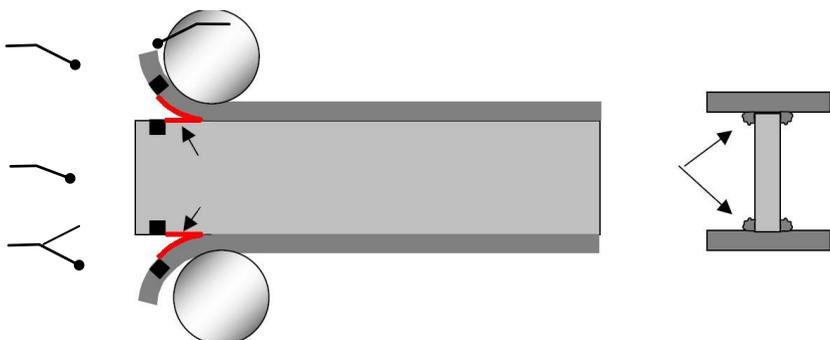


Рис 4.14. Схема сварки балки с нагревом токами высокой частоты.

1 – стенка балки; 2 – полка; 3 – скользящий токоподвод; 4 – зона нагрева; 5 – ролики; 6 – грат.

¹⁵ С.А. Куркин, В.М. Ховов, А.М. Рыбачук, Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: Атлас: Учеб. Пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение. 1989. – 328 с.



К стенке 1 и полкам 2 подводят высокочастотный ток с помощью скользящих токоподвода 3. Так как с увеличением частоты переменного тока глубина его проникновения в металл резко уменьшается, нагрев концентрируется в поверхностных зонах 4 вблизи контакта. В результате действия давления, прикладываемого к балке роликами 5, осуществляется сварка в твердой фазе нагретого до пластического состояния металла. Выдавленный из зоны сварки металл образует грат 6.

Естественным требованием к высокоскоростным станам является комплексная автоматизация всего цикла изготовления балок. В качестве примера реализации такой технологии рассмотрим работу сварочного стана конструкции американской фирмы Thermatool Corp.

Стан (рис. 4.15) рассчитан на производство двутавровых профилей высотой 150÷400 мм со стенкой толщиной 1,6÷6,5 мм и полками шириной 50÷150 мм, толщиной 3,2÷9,6 мм. Проектная скорость сварки в зависимости от толщины стенки изменяется в пределах от 9 до 46 м/мин.

Высокая скорость сварки предопределила целесообразность применения полосовой стали рулонной поставки. Вместе с тем в сварочном стане предусмотрен питатель 2, позволяющий осуществлять поштучную выдачу полок из обычного листового проката. При использовании стали в рулонах заготовки стенок и полки с трех разматывателей 1 проходят через правильные вальцы и по системе направляющих роликов попадают в сварочный агрегат. При высокочастотной сварке в тавр, оптимальный угол сближения стенки и полки составляет $4\div 7^\circ$. Для поддержания угла в заданных пределах, стан снабжен механизмом подгиба полок 4.

Контактная сварка в тавр не гарантирует провар более 80% от толщины стенки, причем в зоне сварки наблюдаются «выплески», снижающие качество сварного соединения. Чтобы увеличить ширину шва и создать плавный переход от стенки к полке, в технологическом процессе предусмотрены следующие операции.

Перед сваркой роликовая высадочная машина 3 производит утолщение кромок заготовки стенки на 30 %, путем пластического деформирования в холодную. После сварки (сварочная клеть 5) станок 6 для огневой строжки удаляет утолщение в районе шва и образует галтели в местах сварки. В сварочном стане



Оборудование и технологии сварочного производства

имеются: роликовая правильная машина 8 для устранения грибовидности полок, дефектоскопическая установка 9. Резка непрерывного профиля на балки требуемой длины, осуществляется при помощи летучей пилы 10, перемещающейся во время резки со скоростью выхода балки из стана.

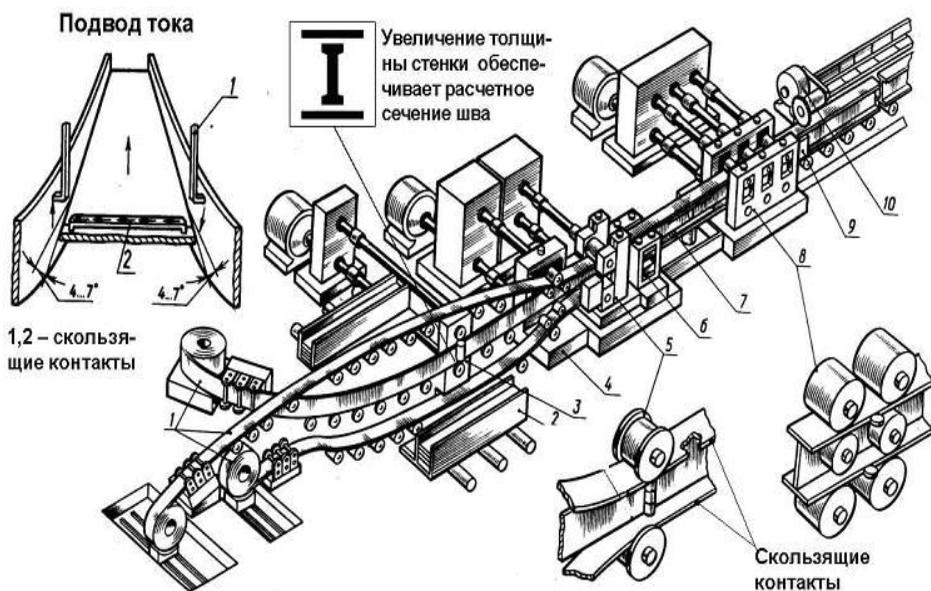


Рис. 4.15. Агрегат для изготовления двутавровых профилей сваркой ТВЧ:

1 – разматыватели рулонных заготовок; 2 – питатель для подачи жестких заготовок; 3 – машина для осадки кромок; 4 – гибочное устройство ($4...7^\circ$); 5 – сварочная установка; 6 – огневая зачистка; 7 – зона охлаждения; 8 – правка; 9 – зона дефектоскопии; 10 – зона разрезания балки.

Испытания сварных двутавров, полученных по способу фирмы Thermatool Corp. показали, что они не уступают горячекатаным профилям по прочности при статическом изгибе, но имеют меньшую долговечность при переменных нагрузках, причем в последнем случае источником разрушения, как правило, являлись сварные швы, поскольку их грубая форма (рис. 4.16) способствует концентрации напряжений.



Рис 4.16. Внешний вид сварной (ТВЧ) балки.

Институт электросварки им. Е.О. Патона совместно с ВНИИМЕТМАШ разработали технологию изготовления сварных широкополочных двутавров, принципиально отличающуюся от технологии фирмы Thermatool Corp. По предложенной ими технологии двутавровый профиль получают путем сварки полосы-стенки из полосового металла и двух горячекатаных, низко-тавровых профилей, используемых в качестве полок (рис. 4.17).

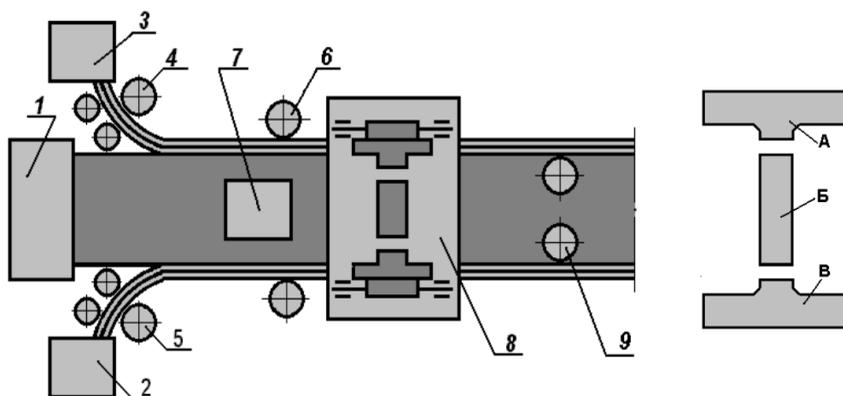


Рис. 4.17. Линия изготовления двутавровых балок ВНИИМЕТМАШ и ИЭС им. Е. О. Патона:

- А, В – низко-тавровый профиль; Б – вертикальная стенка;
- 1 – рулонированная заготовка вертикальной стенки;
- 2, 3 – накопитель низко-таврового профиля;
- 4, 5 – вальцы для подгиба низко-таврового профиля; 6 – прижимные ролики;
- 7 – индуктор для нагрева ТВЧ; 8 – сборочно-сварочная клеть;



9 – устройство для удаления грата.

Такая технологическая схема имеет преимущества. Во-первых, сварные швы, соединяющие полки и стенку вынесены в менее нагруженную зону. Во-вторых, в процессе сварки фиксация взаимного положения стенки и полки осуществляется по выступу тавра, а не по наружной кромке полки, в результате чего уменьшается вероятность относительного смещения свариваемых деталей в процессе образования шва и появления трещин. Однако необходимость организации производства низкотавровых профилей ограничивает номенклатуру сварных балок. Проектная скорость сварки 15÷28 м/мин.

Несмотря на то, что высокочастотная сварка значительно повысила производительность изготовления, горячая прокатка остается в настоящее время наиболее экономичным способом получения широкополочных двутавров высотой до 600 мм. Применение сварки дает ощутимый эффект при изготовлении несимметричных двутавров с полками неравной ширины или толщины, или балок, состоящих из разнородных материалов.

4.5. Изготовление балок коробчатого сечения

В технологическом отношении балки коробчатого сечения сложнее, чем двутавровые, трудоемкость их изготовления на 30÷60 % выше. Однако, благодаря ряду конструктивных преимуществ (большая жесткость на кручение, меньший удельный расход металла и др.) балки коробчатого сечения находят широкое применение, особенно в конструкциях грузоподъемных кранов и пролетных строений мостов.

Для придания большей жесткости вдоль балки располагают несколько поперечных диафрагм, которые приваривают к сжатому поясу и стенкам. Поскольку тавровые соединения, расположенные в поперечном к оси балки направлении создают большую концентрацию напряжений, в балках работающих при переменных нагрузках, например, в подкрановых балках, приваривать диафрагмы к растянутому поясу запрещается. Наличие диафрагм помимо увеличения жесткости конструкции значительно упрощает процесс сборки балок.

Технология изготовления балок коробчатого сечения в мелкосерийном производстве мало отличается от изготовления двутавровых балок.

Общая схема технологического процесса изготовления выглядит следующим образом. После раскроя отдельных элементов



Оборудование и технологии сварочного производства

(поясных листов, стенок, диафрагм) и подготовки кромок, приступают к сборке. При изготовлении балок большой протяженности, требуемые полки и стенки составляют из нескольких листов и сваривают встык. Для исключения непровара, сварку выполняют либо с двух сторон, либо на медной подкладке с формированием обратной стороны шва. Иногда боковые стенки набирают из отдельных листов, а их стыки сваривают после сборки балки. Такой прием облегчает сборку балок большой длины, имеющих строительный подъем, но значительно усложняет сварку стыков стенки.

Сборку балки начинают с установки на верхнем поясе диафрагм. Как в индивидуальном, так и в серийном производстве, эта операция мало механизирована, её выполняют по разметке. Затем, используя диафрагмы в качестве шаблонов, устанавливают боковые стенки и прикрепляют на прихватках к поясу и диафрагмам. После этого следует ряд кантовок, обеспечивающих сварку диафрагм со стенками в нижнем положении. Завершает сборку присоединение на прихватках нижнего пояса. Сварку поясных швов обычно выполняют в положении "в угол". Поворот балки в положение «в лодочку» обычно не производят, так как для коробчатого сечения подрезы поясного шва менее опасны, чем для двутавров.

При изготовлении балок коробчатого сечения существенная механизация труда может быть достигнута только в условиях серийного производства.

С точки зрения организации сварочного производства больший интерес представляет крупносерийное производство. Типичным примером такого производства является изготовление подкрановых балок на поточной линии Узловского машиностроительного завода (г. Узлов, Тульской обл.)

Вследствие большой длины балок (до 36 м) линия выполнена с поперечным направлением потока и продольным движением оборудования и механизмов относительно изделия. Схема поточной линии показана на рис. 4.18.

Все заготовительные операции выполняются в отдельном цехе и на склад поточной линии 11 поступают полностью обработанные заготовки элементов балок. Портальный кран 10 с электромагнитными захватами подает поочередно на рольганг 9 заготовки полок либо стенок. В сварочном стенде 8 осуществляется сборка поперечных стыков элементов балки и автоматическая сварка под флюсом за один проход с обратным формированием шва на медной охлаждаемой подкладке, перемещающейся вдоль стыка синхронно со сварочной головкой. По мере сварки попе-



речных стыков полотнище перемещается по рольгангу на участок рентгеновского контроля. Рентгеновская аппаратура размещена в портальной установке 7, перемещаясь вдоль рольганга, она осуществляет рентгенографический контроль всех предусмотренных ТУ швов. Обычно контролируют все поперечные швы нижнего (растянутого) пояса и производят выборочный контроль швов остальных элементов. Готовые элементы (пояса и стенки) укладывают вертикально в накопители 6. Транспортировку элементов балки производят мостовым краном с помощью траверсы, обеспечивающей равномерное закрепление листа по всей длине эксцентриковыми захватами, расположенными через 4...5 м.

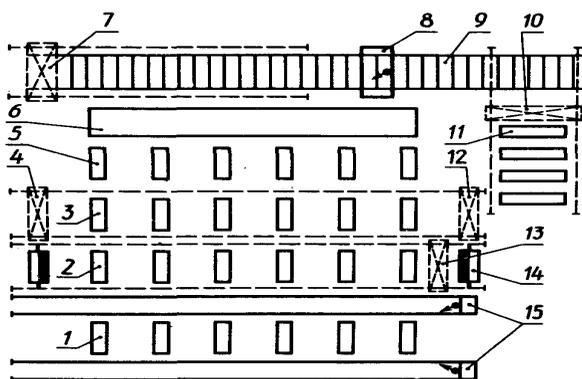


Рис. 4.18. Поточная линия изготовления балок корычато-го сечения:

1 – стэнд для сварки поясных швов; 2 – стэнд окончательной сборки; 3 – стэнд для прогиба балки; 4 – портальная самоходная установка для сборки стенок; 5 – стэнд для сборки и сварки верхнего пояса с диафрагмами; 6 – накопитель; 7 – участок рентгеновского контроля; 8 – сварочный стэнд для сборки и сварки балок; 9 – роликовый конвейер; 10 – портальный кран; 11 – склад обработанных заготовок; 12 – портальная установка для сварки диафрагмы со стенками; 13 – самоходный портал; 14 – гидродомкрат; 15 – сварочный автомат.

Стенды 1,2,3,5 для сборки и сварки балки представляют собой систему козлов, размещенных параллельно друг другу на расстоянии 1,5÷2,0 м. На стенде 5 собирают и сваривают верхний пояс с диафрагмами («гребенку»). Транспортировку «гребенки» на стэнд 3 также осуществляют мостовым краном, прикрепляя её равномерно в нескольких местах к жесткой траверсе. Централь-



Оборудование и технологии сварочного производства

ные козелки станда 3 имеют регулировку по высоте, что позволяет при сборке балки создавать строительный подъем (компенсирующий прогиб балки при работе конструкции под нагрузкой). Величина строительного подъема может достигать нескольких десятков миллиметров и, следовательно, раскрой боковых стенок должен учитывать это.

Сборка боковых стенок осуществляется с помощью портальной установки 4, которая перемещаясь по направляющим вдоль балки, прижимает стенки к диафрагмам и верхнему (сжато в период эксплуатации крана) поясу. Сборщик, обслуживающий портальную установку, соединяет детали между собой на прихватках.

Конструкция портальной установки снабжена системой горизонтальных и вертикальных пневматических прижимов, размещенных на портале, имеет привод перемещения вдоль станда и фиксатор, препятствующий смещению портала под действием вертикальных прижимов.

Выбор способа сварки диафрагм со стенками определяет дальнейший ход технологического процесса. Если принять сварку под флюсом, то швы необходимо расположить в нижнем положении, т.е. для выполнения сварки диафрагм требуется два раза кантовать изделие. С помощью ручной дуговой сварки все швы можно выполнять без кантовки, но производительность этого способа сварки невысока, кроме того, сварщику приходится работать в неудобном положении. Большую производительность обеспечивает способ сварки вертикальных швов в среде CO_2 с принудительным формированием наплавленного металла. Установка 12 портального типа имеет четыре головки для сварки вертикальных швов, расположенные попарно на траверсах. Перемещая установку вдоль балки, оператор производит вначале грубую ориентировку сварочных головок относительно диафрагм, а затем более точную корректировку их по шву. Кроме того, каждая головка имеет копирующие ролики. Сварочные головки размещены так, что одновременно производится сварка односторонними швами двух диафрагм к двум стенкам, причем для уменьшения остаточных сварочных деформаций два шва, прикрепляющие диафрагму к стенке располагают с противоположных сторон относительно диафрагмы.

Затем мостовым краном балку передают на станд 2, где осуществляют сборку нижнего пояса. Перед сборкой нижнего пояса с балкой необходимо устранить угловые деформации соединения диафрагмы со стенкой, образующиеся в процессе свар-



ки. Для этого используют метод предварительного изгиба балки (без верхнего пояса) в обратном направлении (раздел 3.4, рис. 3.39).. Расположенные на тележках 14 гидродомкраты подводят к концам балки и, нажимая на верхний пояс, прогибают ее так, что свободные кромки вертикальных листов оказываются растянутыми в упругой области, что приводит к устранению сварочных деформаций. Затем укладывают нижний пояс. Самоходный портал 13 с вертикальными пневмоцилиндрами прижимает пояс к балке, и его закрепляют на прихватках. Операция предварительного изгиба балки не только устраняет гофры стенок, улучшая тем самым их работу при эксплуатации крана, но и позволяет создать в нижнем поясе предварительные напряжения сжатия, что также положительно влияет на работоспособность балки.

Далее балку передают на стенд 1 для сварки поясных швов. Вдоль стенда с каждой его стороны имеются рельсовые пути, по которым перемещаются два автомата 15, выполняющие сварку под флюсом одновременно двух поясных швов. Ввиду того, что параллельность рельсового пути балки на всем протяжении шва обеспечить практически невозможно, автоматы снабжены выносными сварочными головками, закрепленными шарнирно на корпусе автомата. В процессе сварки пружины постоянно поджимают головку к балке, а копирующий ролик направляет электрод по стыку.

После сварки первой пары швов производится кантовка балки краном и аналогично сваривают вторую пару швов.

4.6. Технология изготовления ортотропных панелей мостового полотна

Мостовое полотно современных мостов высокоскоростных автомагистралей представляют собой ортотропные панели, опирающиеся на систему продольных и поперечных балок. Фрагмент полотна показан на рис. 4.19. Ортотропные панели состоят из основного листа настила 1 толщиной 14...50 мм; набора продольных ребер жесткости (стрингеров) 2 из металла толщиной 6...8 мм и поперечных балок 3. Размеры их в плоскости составляют приблизительно 20x4 м.

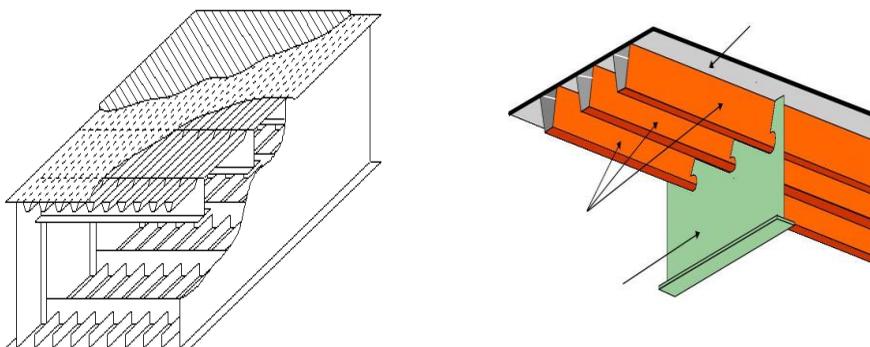


Рис. 4.19. Ортотропные панели мостового настила

Все детали сваривают между собой непрерывными швами. Стрингеры приваривают швами с полным проплавлением, а поперечные балки – двухсторонним швом. Для того чтобы предотвратить появления трехосных остаточных напряжений в местах пересечение трех швов свариваемых элементов на стенке поперечной балки предусмотрены скругленные вырезы (рис. 4.20).

Аналогичные вырезы предусмотрены в той части стенки, где она примыкает к закругленным участкам профиля стрингера.

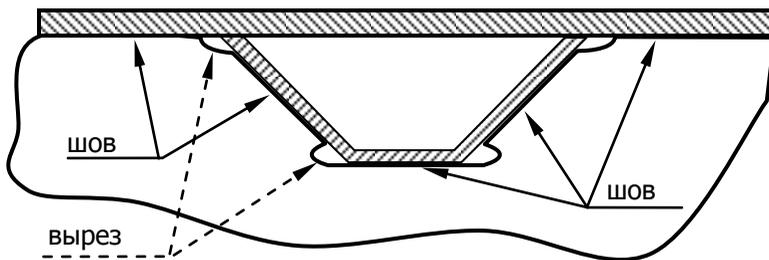


Рис. 4.20. конструкция узла пересечения швов

На этих участках трудно обеспечить прилегание кромки с требуемым для качественного выполнения шва зазором. На этом участке шов не выполняют, а скругленный вырез уменьшает концентрацию напряжений.

На зарубежных предприятиях изготовление ортотропных панелей ведут на высокотехнологичных линиях. Заготовительные, транспортные и сварочные операции выполняют на оборудовании с числовым программным управлением.



Оборудование и технологии сварочного производства

Например, на предприятиях Yokogawa Bridge Corporation (Япония) производится лазерная разметка заготовок и резка на машинах с ЧПУ металла толщиной до 25 мм 6 кВт CO₂ – лазером; для большей толщины используют плазменную и газовую резку. С целью уменьшения деформаций плазменную реку выполняют по слою воды.

На машинах портального типа производится сборка и сварка листового настила 1 со стрингерами 2 одновременно двумя сварочными головками (рис. 4.21)



Рис. 4.21. Линия сборки и сварки

На некоторых предприятиях сварка стрингеров с полотнищем выполняется на машинах с 20-ю одновременно работающими сварочными головками.

На большинстве предприятий сварку выполняют проволокой 1,2; 2,4 мм в среде защитных газов.

В данном сварном узле сварные швы смещены относительно центра тяжести сечения и, следовательно, поле сварки можно ожидать появления деформаций изгиба. Для предотвращения остаточных сварочных деформаций используется метод наложения "ложного валика". Одновременно с выполнением поясных швов с помощью газовой горелки производится нагрев стрингера (рис. 4.21 справа), что вызывает появление изгибающего момента противодействующего усадочным силам в районе швов. Кроме того, на некоторых предприятиях производят правку в холодном состоянии под прессом.

Параллельно изготавливают поперечные балки. Применение машин для тепловой резки металла с компьютерным управлением позволяет выполнить вырезы на стенке поперечной балки с приемлемой для последующей сборки и сварки точностью.

Сварку швов, соединяющих поперечную балку с полотни-



щем и стрингерами, выполняют несколько одновременно работающих сварочных роботов.

Процесс изготовления ортотропных панелей завершают измерением геометрических размеров конструкции с помощью лазерных измерительных систем, что позволяет произвести проверку соответствия реальных размеров проектным и на виртуальном уровне осуществить контрольную сборку конструкции. В результате исключается необходимость выполнения реальной контрольной сборки в заводских условиях, что экономит средства и время.

5. РАМНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

5.1. Технологические особенности изготовления рамных конструкций

Рамы представляют собой объемную пространственную конструкцию, предназначенную для соединения отдельных деталей и механизмов в единый агрегат, машину, станок. Назначение рамных конструкций и условия их эксплуатации определяют основные рекомендации к разработке технологии изготовления сварных рам. Рассмотрим их более подробно.

Жесткость конструкции является одним из главных требований, предъявляемым к рамам. В связи с этим сварные рамы часто включают в себя балки Н-образного и коробчатого сечения, подкрепленные во многих местах ребрами жесткости. В связи с этим характерным для рамных конструкций является большое число относительно коротких швов, расположенных в различных пространственных положениях. Отсюда вытекают следующие технологические рекомендации:

- Для соединения деталей целесообразно назначать полуавтоматическую сварку в среде углекислого газа или смеси газов, а в случае большого удаления швов друг относительно друга – ручную дуговую сварку покрытым электродом.

- Значительные размеры рам по ширине заставляют применять специальные меры, облегчающие доступ к месту сварки. Для этой цели используют кантователи с подъемными центрами (рис. 5.1), который при кантовке поднимает раму, что обеспечивает ее поворот, а при сварке опускает для обеспечения доступа к швам; передвижные подъемные площадки для сварщиков (рис. 5.2), поднимающие сварщика на необходимую для удобства сварки высоту или располагают позиционер в специальном



Оборудование и технологии сварочного производства

углублении так, чтобы сварку производить на уровне пола (рис.5.3), а кантовку в прямке ниже уровня пола.

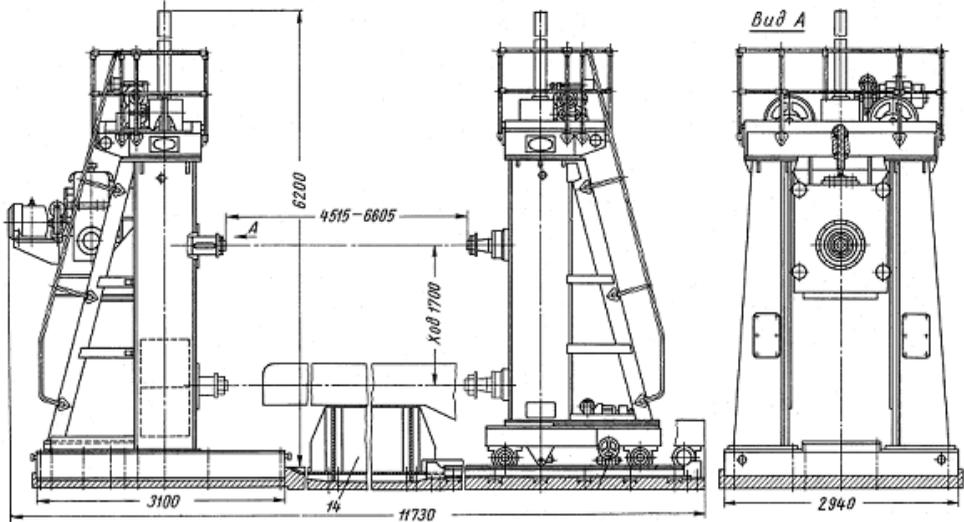


Рис. 5.1. Кантователь с подъемными центрами

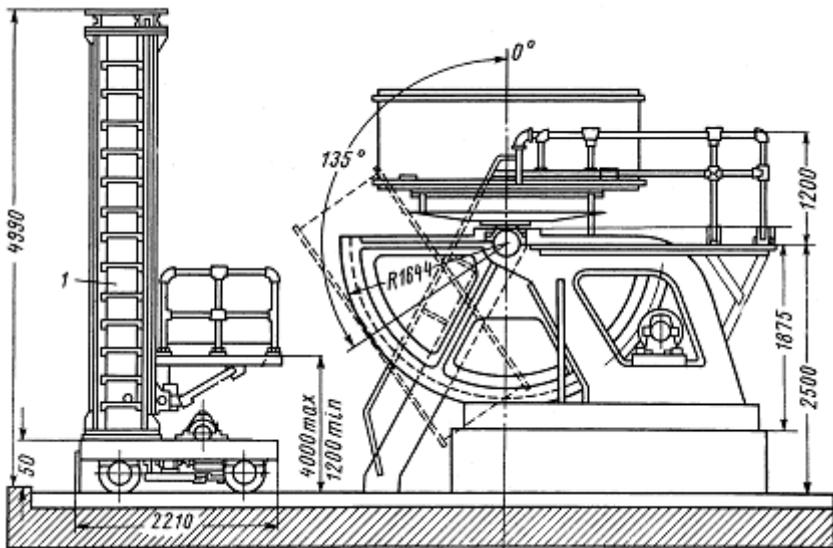


Рис 5.2. Кантователь с подъемной площадкой для сварщика.

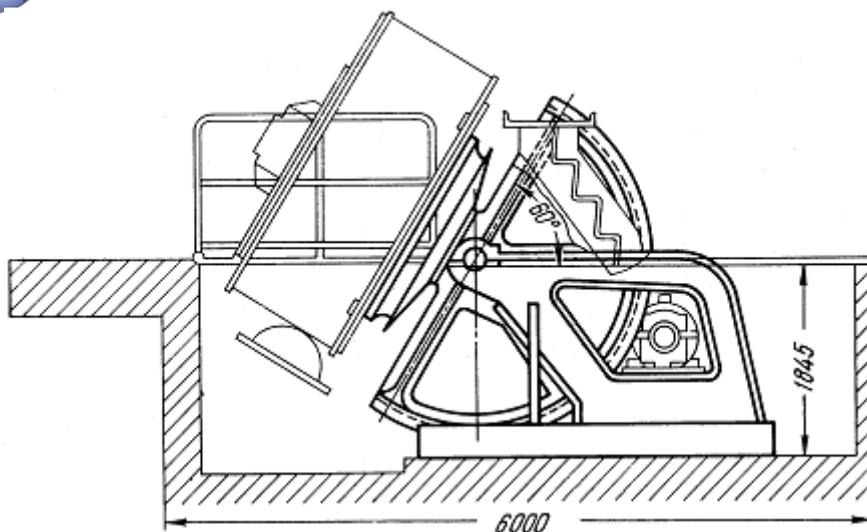


Рис. 5.3. Размещение кантователя в прямке ниже уровня пола

Требуемая высокая точность взаимного расположения отдельных узлов и деталей рамы, обусловленная тем, что на рамах располагаются различные механизмы.

Наиболее простой технологический прием обеспечения точности заключается в назначении операции механической обработки после сварки всего изделия. При производстве крупных рам эта рекомендация во многих случаях не выполнима, так как некоторые детали располагаются в труднодоступных для механической обработки местах. Кроме того, назначение механической обработки только после сварки требует увеличения припусков, что повышает трудоемкость изготовления. Окончательная механическая обработка до сварки значительно сокращает трудоемкость сборки рамы, но предъявляет более высокие требования к точности взаимного расположения деталей при сборке.

Как правило, при сварке сложных по конструкции рам не представляется возможным учесть остаточные деформации и, следовательно, механическая обработка всего изделия неизбежна. Поэтому наибольшее распространение получил следующий прием: предварительная механическая обработка заготовок с минимально необходимым припуском, облегчающая взаимное фиксирование деталей при сборке, и окончательная механическая обработка после сварки.



Оборудование и технологии сварочного производства

Наиболее часто проблемы возникают в тех случаях, когда на раме размещаются втулки и корпуса подшипников.

Их взаимное фиксирование при сборке и сварке осложняется тем, что возникающие сварочные деформации могут привести к перекосу осей деталей и заклиниванию фиксирующего элемента. Решением этой проблемы может быть применение фиксаторов с раздвижными кулачками. В качестве примера на рис. 5.4 показано устройство для взаимного фиксирования положения втулок с пересекающимися осями.

На корпусе 6 размещены две оправки – для фиксирования вертикальной оси 5 и горизонтальной 7, причем последняя установлена на корпусе пневмоцилиндра 11, что позволяет перемещать ее в горизонтальном направлении и обеспечивает возможность удаления конструкции из сборочного приспособления после сварки.

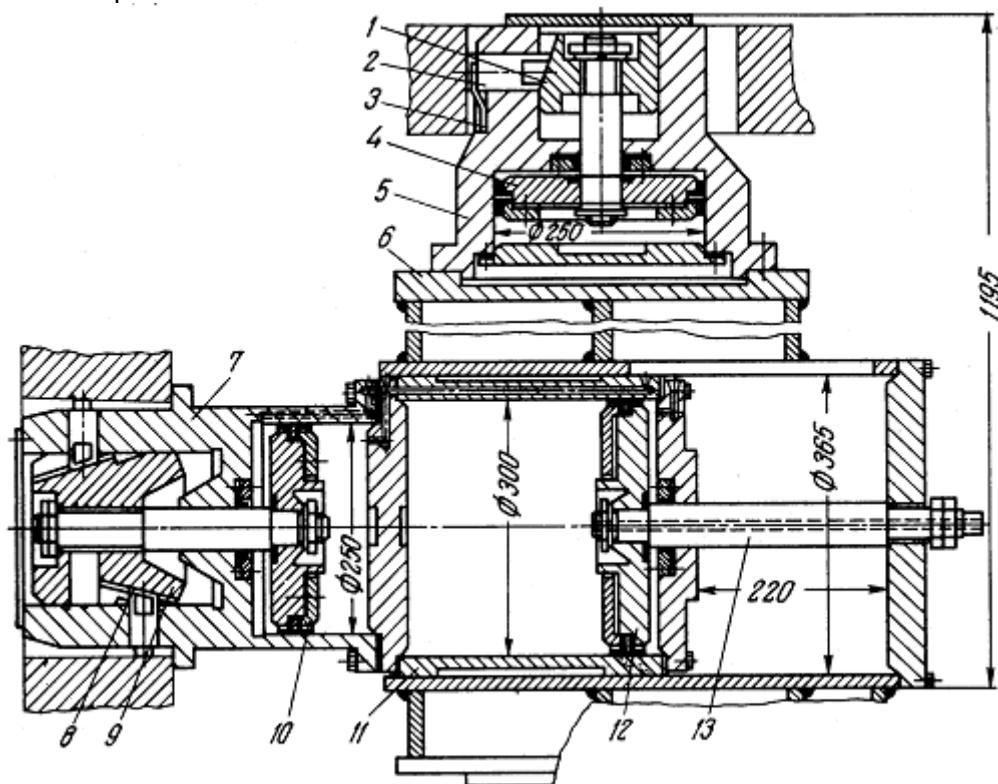


Рис. 5.4. Устройство для взаимного центрирования двух втулок с пересекающимися осями.



Оправки имеют раздвижные кулачки 2, 9, расположенные радиально в одной или двух плоскостях (обычно по три в каждой плоскости). При движении поршня 4, 10 конус 1, 8 раздвигают кулачки в радиальном направлении и фиксируют положение втулок. После сварки пневмопривод перемещает конуса в обратном направлении, а пружины 3 возвращают кулачки в исходное положение, освобождая детали от закрепления. Именно благодаря выдвигаемым кулачкам удастся добиться требуемой точности взаимного позиционирования деталей и обеспечить возможность свободного удаления детали из приспособления после сварки.

Для рамных конструкций важна стабильность размеров конструкции в процессе эксплуатации. Большая жесткость конструкции и насыщенность сварными швами создает предпосылки к накоплению остаточных сварочных напряжений.

Их перераспределение при механической обработке или под действием эксплуатационных нагрузок может привести к недопустимым деформациям конструкции и изменению размеров между осями деталей, размещаемых на раме. Это явление особенно заметно при использовании низколегированных сталей, когда изменение размеров вызывает распад аустенита в шве и околошовной зоне. Для стабилизации размеров, рекомендуется назначать перед механической обработкой высокий отпуск для снятия напряжений. Для рамных конструкций достаточно эффективным методом стабилизации размеров является вибрационная обработка изделия после сварки. Ее суть состоит в следующем: на раму, закрепленную на опорах, устанавливают вибратор и возбуждают колебания рамы с частотой, близкой к резонансной. Обычно вибратор представляет собой не сбалансированную вращающуюся массу с приводом от двигателя постоянного тока для обеспечения возможности регулирования частоты колебаний. В тех случаях, когда отдельные участки рамы имеют разные резонансные частоты, виброобработку производят отдельно, устанавливая вибратор на различные участки рамы.

Основными параметрами вибрационной обработки являются амплитуда и время (длительность) виброн нагружения. Чем выше амплитуда переменных напряжений, тем интенсивнее происходит релаксация остаточных напряжений. Необходимо отметить, что слишком высокие амплитуды переменных напряжений и большая продолжительность виброобработки могут стать причиной усталостных повреждений сварных конструкций.



Оборудование и технологии сварочного производства

Вибрационная обработка не приводит к полному снятию остаточных напряжений, но существенно повышает показатели размерной стабильности. При правильно выбранных режимах относительное снижение остаточных напряжений при виброобработке на первой резонансной частоте составляет 40-45%, на второй - дополнительно 10-12%, на третьей, четвертой и пятой - 5-8%.

В настоящее время накоплен большой опыт использования вибрационной обработки сварных рам, станин, оснований, поперечин, металло- и деревообрабатывающих станков и машин. Весьма эффективным оказалось использование стабилизирующей виброобработки при изготовлении крупногабаритных деталей для тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения.

Внедрение виброобработки при изготовлении около 1 тыс. т сварных конструкций позволяет сэкономить на одном станкостроительном заводе около 1 млн. кВт-ч электроэнергии и в десятки раз сократить цикл стабилизирующей обработки.

По сравнению с термической обработкой сокращаются капитальные затраты в 10-12 раз.

Усталостная прочность. Следующая группа технологических рекомендаций, обусловлена тем, что рамные конструкции могут работать под действием динамических нагрузок и, следовательно, технологический процесс должен предусматривать мероприятия, направленные на повышение усталостной прочности сварных соединений. К числу таких мероприятий относятся следующие:

- выполнять угловые сварные соединения в положении «в лодочку»;
- проводить механическую обработку швов, с целью устранения концентраторов напряжений;
- применять оплавление участка перехода от шва к основному металлу неплавящимся электродом в аргоне (наложение галтельных валиков) для получения плавного очертания контура шва;
- проводить обработку (наклеп) участка перехода от шва к основному металлу сварного соединения ультразвуковым ударным или многобойковым инструментом для создания в поверхностных слоях остаточных напряжений сжатия.

При разработке технологии изготовления рамных конструкций существенным является оптимальный выбор последовательности сборочно-сварочных операций. Полное завершение сборки до начала сварки оказывается целесообразным только при



изготовлении рам малых по размеру и несложных по конструкции. В большинстве случаев предпочтение отдают поузловой сборке с последующей общей сборкой. Это позволяет упростить технологию сборки и сборочно-сварочную оснастку, улучшает доступность мест сварки, позволяет в процессе изготовления чередовать сварку и механическую обработку. Кроме того, при последующей сборке появляется возможность компенсировать деформации, появившиеся при сборке и сварке отдельных сборочных единиц.

5.2. Пример изготовления рамной конструкции

Рассмотрим особенности организации производства рамных конструкций на примере изготовления нижней рамы экскаватора ЭКГ-4,6 на ОАО «Уралмаш»¹⁶

Конструкция нижней рамы представляет собой коробку, состоящую из вертикальных листов, закрытых снизу и сверху настилами из листового проката; внутри коробки для жесткости установлена решетка из пересекающихся вертикальных листов (рис. 5.5).

На верхний настил устанавливается корпус подшипника в виде отливки, прошедший предварительную механическую обработку. К лобовому вертикальному листу приварен литой картер сложной конфигурации, который до установки проходит окончательную обработку по плоскости разъема и предварительную обработку отверстий. На внутренние диафрагмы устанавливаются литые подшипники. К сборке и сварке конструкции предъявляются жесткие требования в отношении допусков на установочные размеры.

Технологическая схема участка показана на рис. 5.6. Окончательно обработанные детали из проката и предварительно обработанные детали из литья и поковок подаются со склада полуфабрикатов на вагонетках по поперечному пути на складское место 1 участка. Отличительная особенность организации производства на ОАО «Уралмаш» состоит в том, что в заготовительном производстве предприятия создан цех комплектации и на участок подают только полный комплект деталей для заданного изделия.

¹⁶ Рыжков Н.И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. Изд-во «Машиностроение», М: 1970г., 383 с.

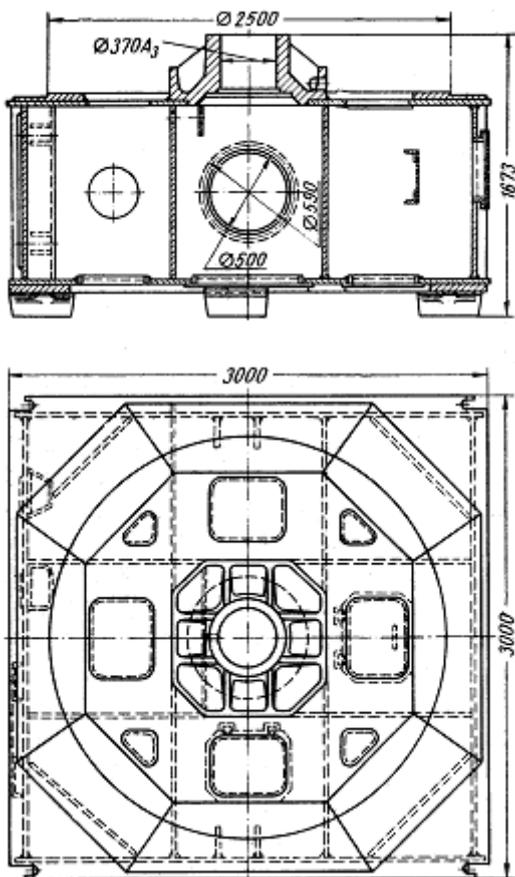


Рис.5.5. Общий вид рамы экскаватора ЭГ-4,6.

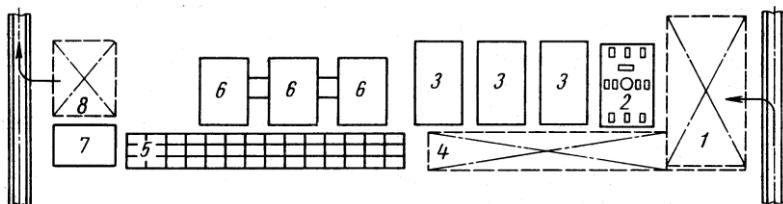


Рис.5.6. Технологическая схема участка сборки и сварки рамы экскаватора ЭГ-4,6.

В технологическом стенде 2 производится сборка решетки нижнего настила рамы, а также закрепление всех элементов на прихватках.



Оборудование и технологии сварочного производства

Затем рама поступает для сварки на позиционеры 3, где свариваются детали решетки между собой и с настилом. Следует обратить внимание на характерную для организации поточного производства особенность – наличие накопителя 4, служащего для синхронизации работы оборудования. В случае нарушения цикла изготовления, собранные узлы можно временно хранить на складской площадке 4 (накопителе), расположенной перед позиционерами. После сварки на позиционере 3 раму передают мостовым краном на сборочно-сварочные стеллажи 5, где зачищают швы и устанавливают остальные элементы. Окончательная сварка производится на позиционерах 6, углубленных в приямках (рис. 5.3).

По окончании сварки рама поступает на площадки 7, 8 для очистки и визуального контроля качества швов. Готовые узлы передаются с помощью вагонеток для выполнения последующих операций механической обработки и грунтовки.

Сборка рамы. Жесткие требования к точности изготовления сварных рам определяют целесообразность применения сборочных кондукторов. Для сборки решетки рамы используется стенд, показанный на рис. 5.7.

Конструкция стенда позволяет выполнять с необходимой точностью геометрию изделия, а применение пневматических прижимов дает возможность резко сократить время закрепления элементов и облегчить работу слесаря-сборщика.

Стенд представляет собой жесткую раму 7, изготовленную из двутавровых балок, закрытую сверху толстым листом, на который приварен ряд опорных пластин. Их наличие значительно сокращает объем механической обработки базовой поверхности рамы приспособления, т.к. механически обрабатывают не всю поверхность, а только выступающие опорные пластины. На пластины устанавливают обработанные по плоскости сопряжения опорные базовые элементы – упорные стойки 3, 8, которые обеспечивают возможность получить правильную геометрию вертикальных листов собираемого узла.

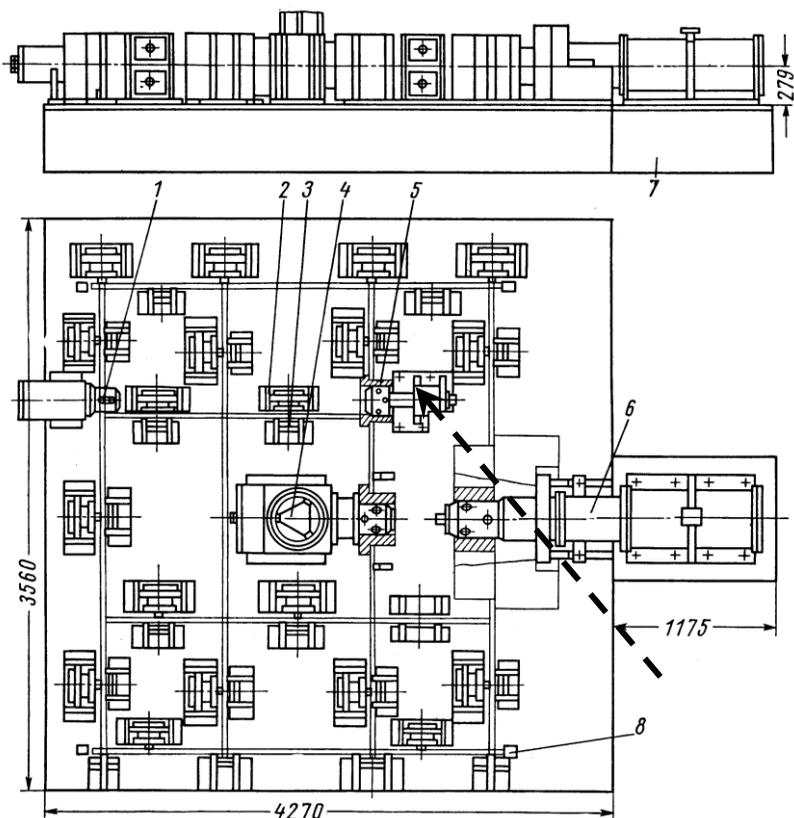


Рис. 5.7. Приспособление для сборки решетки рамы.

Для поджатия вертикальных листов на раме станда установлено 19 пневмаприжимов 2. Необходимо обратить внимание на характер размещения упорных стоек 3 и прижимов 2 относительно фиксируемых элементов (вертикальных листов изделия). Упорные стойки должны быть расположены так, чтобы сварочные деформации не приводили к заклиниванию детали в приспособлении и не препятствовали ее извлечению, т.е. все упоры должны быть размещены по одну сторону фиксируемой детали, а прижимы – по другую. В показанном на рис. 5.7. сборочном приспособлении деталь после сварки можно извлечь, если сдвинуть ее по диагонали, как показано стрелкой.

Определенные сложности возникают при сборке корпусов подшипников 1 и 5 с диафрагмами решетки рамы. Фиксация их положения осуществляется оправками с разжимными кулачками, действующими от поворота винта (рис. 5.8).



Оборудование и технологии сварочного производства

В корпусе оправки 1 размещена гильза 2, на конце которой имеется центрирующая втулка 3. При сборке вручную перемещают гильзу и вводят в корпус подшипника центрирующую втулку. Затем с помощью винта 7 перемещают сухарь внутри центрирующей втулки, который раздвигает в радиальном направлении сухари 5, расположенные в двух параллельных плоскостях, фиксируя положение корпуса подшипника по отношению к решетке рамы. Перемещение гильзы обеспечивает возможность извлечения собранной рамы из приспособления.

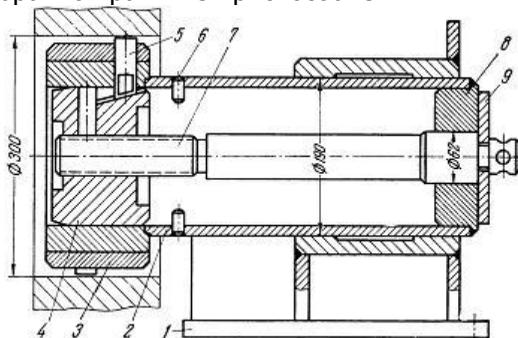


Рис. 5.8. Разжимной фиксатор с ручным приводом.

Подобным образом производится фиксирование положения картера и подшипника, но оправка б имеет пневматический привод.

Внутри рамы станда выполнена разводка трубопровода сжатого воздуха из магистрали ко всем цилиндрам.

При сборке решетки рамы производится прихватка всех листов в вертикальном положении друг к другу.

После установки литых подшипников в диафрагмах рамы устанавливают верхний настил и центрируют отверстие центральной отливки пневматической оправкой станда (рис. 5.4). Затем прикрепляют настил к вертикальным листам с помощью усиленных прихваток, так как эти прихватки должны удерживать раму весом около 15 т. При сварке позиционер предназначен для установки деталей, закрепленных на планшайбе, в удобное положение для сварки «в лодочку».

Сварка рамы разбивается на две стадии: сварка решетки после сборки ее в механизированном станде и окончательная сварка после закрытия вторым настилом и установки всех деталей.

В зависимости от характера выполнения сварочных работ используются разные схемы размещения позиционеров.



Оборудование и технологии сварочного производства

Позиционеры 3 (рис. 5.6) установлены на фундаменте высотой 650 мм над уровнем пола цеха, каждый из них имеет площадку (рис.5.2), на которой размещается сварщик при выполнении сварки решетки.

Позиционеры 6 (рис. 5.6) этой же конструкции установлены в специальные углубления, чтобы окончательная сварка производилась на уровне пола цеха (рис. 5.3). Поэтому позиционеры не имеют рабочих площадок.

Раму можно поворачивать вокруг оси вращения от 0 до 360° и наклонять от 0 до 85°.

После окончания сварки решетки рамы планшайба устанавливается в горизонтальное положение, раскрепляются крепежные устройства и узел мостовым краном передается на следующую операцию - закрытие нижним настилом.

После установки настила и всех элементов рамы окончательная сварка выполняется на позиционере, установленном в углублении. Кроме крепления изделий на планшайбе и отсутствия сварочной площадки в технологии сварки на этом рабочем месте по сравнению с рабочим местом сварки решетки существенной разницы нет.

Замыкает цикл изготовления нижних рам зачистка и разметка припусков на механическую обработку.

6. РЕШЕТЧАТЫЕ КОНСТРУКЦИИ

6.1. Приемы сборки в индивидуальном и мелкосерийном производстве

Решетчатые конструкции весьма разнообразны по размерам и формам. К ним относятся фермы, состоящие из двутавров, швеллеров, уголков, труб, опоры буровых установок для глубоководного бурения, состоящие из труб диаметром от 200 до 2000 мм; решетки арматуры железобетона, изготовленные из прутков диаметром 4÷32 мм.

Общим для таких конструкций является необходимость соединения между собой нескольких отдельных стержней в узел. Сварные соединения имеют относительно малую протяженность и располагаются в различных пространственных положениях. При изготовлении решетчатых конструкций наибольшее применение находит ручная дуговая и механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения и порошковой самозащитной проволокой. Рациональное конструирование узлов позволяет



Оборудование и технологии сварочного производства

в некоторых случаях применить высокопроизводительную контактную сварку. Для узлов с нахлесточными соединениями перспективным является применение пайки.

При изготовлении ферм, стержни которых состоят из парных элементов, широко используется метод копирования. Сущность метода заключается в следующем. По разметке собирают и сваривают полуферму, состоящую из одиночных элементов (рис.6.1 а); производят ее кантование и закрепляют на стеллаже косынками вверх. Затем, используя эту полуферму в качестве копира, производят сборку деталей следующей полуфермы как по шаблону. Для этого детали полуфермы 2 (элементы верхнего и нижнего пояса, раскосов, стоек и др.) раскладывают на копире 1 (рис. 6.1 б), совмещая их с одноименными деталями. После скрепления между собой деталей полуфермы 2 сварными швами, ферму снимают с копира, кантуют на 180° и дополняют её недостающими элементами. Для того чтобы исключить накопление погрешностей при сборке последующих полуферм, подменять полуферму-копир в процессе изготовления не рекомендуется.

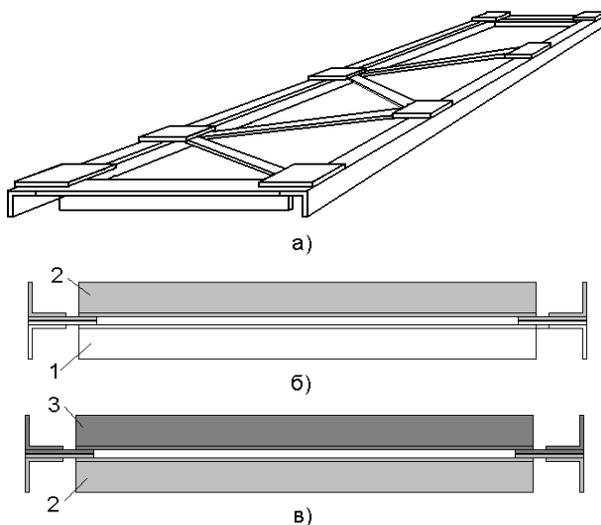


Рис. 6.1. Изготовление ферм методом копирования:
1 - элементы копирной полуфермы; 2 - элементы собираемой полуфермы; 3 - дополнительные элементы фермы.

К точности изготовления опорных узлов фермы предъяв-



Оборудование и технологии сварочного производства

ляются повышенные требования, поэтому на концах копира обычно укрепляют специальные съемные фиксаторы (рис. 6.2), которые определяют положение деталей с монтажными отверстиями и ограничивают наиболее важные геометрические размеры конструкции в пределах заданных допусков.

Сборка ферм по копиру с фиксаторами производится в следующем порядке. Сначала устанавливаются концевые планки 2, предварительно сваренные с фасонками 1. Их правильное положение обеспечивает совмещение монтажных отверстий концевых планок с отверстиями в стойке фиксатора IV. Затем на копире раскладывают все остальные элементы, производят прихватку элементов собираемой фермы между собой, снимают собранную ферму с копира и дополняют её недостающими элементами, как описано выше.

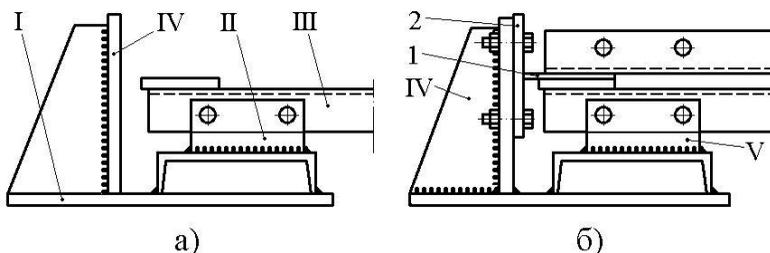


Рис.6.2. Схемы фиксирования положения монтажных отверстий в опорных узлах ферм

В последние годы все более широкое применение находят объемные решетчатые конструкции. К их числу можно отнести большепролетные перекрытия, выполненные в форме купола, опорные конструкции покрытия мостов, основания морских буровых платформ и др. Примеры объемных решетчатых конструкций показаны на рис. 6.3.

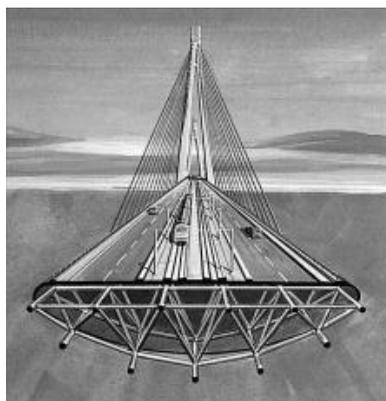


Рис. 6.3. Примеры объемных решетчатых конструкций.

Обычно их изготавливают из труб. В узлах пересечения элементов сходятся несколько труб, лежащих в различных плоскостях. Это одна из главных конструктивных особенностей, определяющих технологию изготовления. Поскольку многие из



Оборудование и технологии сварочного производства

таких конструкций работают при переменных нагрузках, для изготовления должна гарантировать высокую усталостную прочность сварных соединений. В связи с чем, предъявляются повышенные требования к точности взаимного расположения деталей, к качеству сварных соединений, и особенно, к геометрии профиля перехода от шва к основному металлу.

Технологию изготовления объемных решетчатых конструкций рассмотрим на примере решетчатой конструкции опор морских буровых платформ (рис. 6.4).

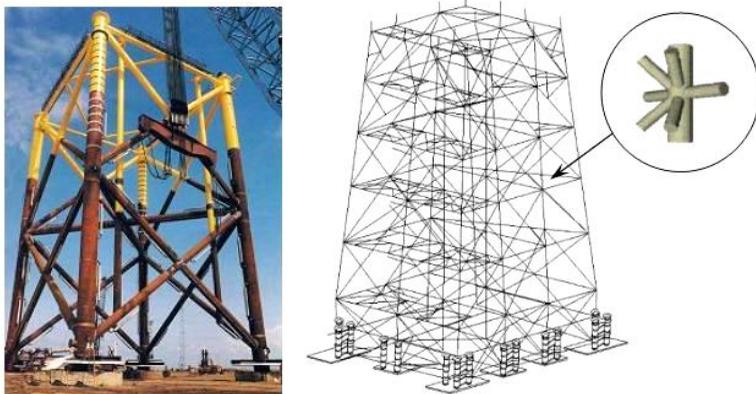


Рис. 6.4. Опора морской буровой платформы

Узлы решетчатой конструкции опоры морских буровых платформ часто представляют собой геометрически связанный комплекс, что в совокупности с большими размерами конструкции (высота опоры может достигать 120м, диаметр опорных колонн – до 2м, толщина стенки – до 50мм) создает ряд специфических проблем при их изготовлении в части сварки и обеспечения точности размеров.

Требования к точности и технологии изготовления опор морских буровых платформ устанавливает проектировщик, основываясь на международных нормативных документах и дополнительных требованиях, продиктованных особенностями проекта и национальными стандартами заказчика. Основным международно-признанным нормативным документом является стандарт Американского института нефти API RP2A – Практические рекомендации для проектирования, расчета и сооружения стационарных морских платформ, в котором отражен опыт сооружения морских буровых платформ. В части технологии сварки требования, как правило, основываются на стандарте Американского общества



сварщиков AWS – Structural Welding Code AWS D 1.1.

Трудоемкость и качество выполнения сборочных и сварочных операций в условиях цеха, на монтажной площадке предприятия изготовителя и при монтаже на месте эксплуатации существенно различаются. Очевидно, что в условиях цеха проще обеспечить наиболее высокое качество изготовления, так как появляется возможность автоматизировать процесс, выполнить сварку в удобном положении, исключить неблагоприятное влияние окружающей среды. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы максимальный объем работ при сооружении таких конструкций был выполнен в условиях цеха, однако при этом возникают проблемы транспортировки крупногабаритных конструкций к месту эксплуатации.

Чрезвычайно большие габариты опор морских буровых платформ практически исключают возможность использования традиционных для решетчатых конструкций схем сборки, когда стержневые элементы собирают в узел путем непосредственного соединения между собой раскосов, стоек, поясных элементов. Так же исключено применение метода копирования для сборки. Определенные трудности при сборке и сварке возникают в результате того, что концы трубчатых стержневых элементов в месте соединения имеют сложный криволинейный контур.

При сооружении больших решетчатых опор всю конструкцию расчленяют на сборочные единицы, а изготовление и монтаж ведут в три этапа.

При расчленении на сборочные единицы необходимо принимать во внимание следующее:

Габариты; масса; размерность – они в значительной степени определяют транспортабельность, удобство сборки, доступность сварных соединений для сварки и последующего контроля качества;

Последовательность сварки: расчленение на сборочные единицы должно обеспечивать возможность выполнения сварки в требуемой последовательности, исключать образование больших по величине остаточных напряжений и деформаций после сварки узла или в период сборки и монтажа.

Конструктивные особенности: взаимное расположение деталей может затруднять доступность к сварным швам, поэтому некоторые детали целесообразно установить и приварить при окончательной сборке конструкции. Сборочные единицы должны иметь достаточную жесткость и прочность, чтобы предотвратить появление непредусмотренных проектом деформаций и разруше-



ния в процессе кантовки и транспортировки.

На первом этапе в условиях цеха изготавливают узлы решетчатой опоры в сварном варианте или в виде стального литья, для того, чтобы исключить влияние сварки на прочность. Узел представляет собой цилиндрическую обечайку (стакан), являющуюся частью будущей опорной стойки, и патрубков, являющихся частью будущей раскосной решетки. Количество патрубков соответствует числу стержней, соединяющихся в узле. Рекомендуемые размеры этой сборочной единицы показаны на рис. 6.5.

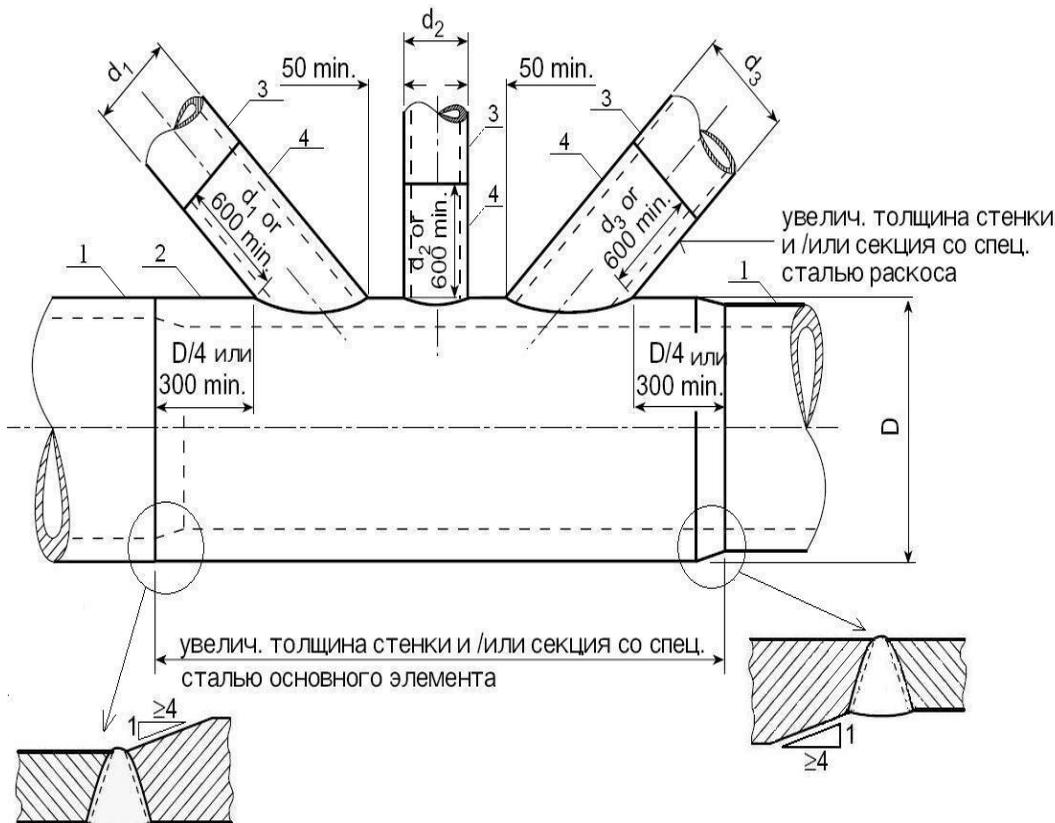


Рис. 6.5. Сборочная единица «Узел решетчатой опоры» 1- опорная стойка; 2 – стакан (утолщенная часть опорной стойки), 3 – раскос; 4 – патрубок (концевая часть раскоса, иногда с большей толщиной стенки).

Для того чтобы исключить смятие трубчатого элемента опорной стойки в узле примыкания раскосов, стакан укрепляют



ребрами жесткости или увеличивают толщину его стенки. На участке перехода утолщенной стенки стакана к более тонкостенной стенке опорной стойки производят утонение кромки с уклоном 1:4 для уменьшения концентрации напряжений в районе сварного шва. Для того чтобы сварные кольцевые швы вывести из зоны концентрации напряжений введены ограничения на допустимое размещение кольцевых сварных швов по отношению к месту расположения швов, соединяющих детали узла между собой (рис. 6.5). Ограничивают минимальное расстояние между швами, присоединяющими раскосы, с тем, чтобы избежать снижения пластичности металла из-за деформационного старения.

Выделение узла решетчатой опоры в самостоятельную сборочную единицу позволяет решить ряд проблем, связанных с обеспечением прочности конструкции, точности сборки и качества сварки. В частности, появляется возможность повысить точность сборки и сократить трудоемкость этой операции за счет применения универсальных сборных переналаживаемых приспособлений УСПС.

Относительно небольшие размеры данной сборочной единицы упрощают подготовку профиля кромок и сборку деталей под сварку, позволяют обеспечить большую точность изготовления. Кроме того, изготовление наружных концов соединяемых деталей с припуском позволят путем последующей механической обработки торцов сборочной единицы устранить погрешности в размерах, возникшие в процессе сборки и сварки. Собранный на прихватках сборочную единицу можно кантовать в удобное для сварки положение. В процессе сварки детали могут свободно перемещаться под действием усадочных сил, что приводит к снижению уровня остаточных напряжений в сварных соединениях.

Возможны различные варианты сборки в зависимости от геометрии узла или предпочтений изготовителя. Некоторые предпочитают сборку с вертикальным расположением патрубков, что позволяет произвести большее число патрубков одновременно без кантовки. Однако большинство изготовителей предпочитают сборку в горизонтальном положении. Последовательные шаги в изготовлении типичного узла следующие:

Разметка мест соединения элементов в узлах; обрезка и подготовка профиля сочленения патрубков; подгонка кромок и разметка положения патрубков; зачистка мест сочленения; зачистка поверхности деталей под ультразвуковой контроль для определения возможного расслоения металла в стенке труб. Особое внимание необходимо уделять тем участкам сварного соединения



Оборудование и технологии сварочного производства

узла, где характер воздействия нагрузки может привести к расслоению металла стенки трубы. Это участки стенки стакана в районе примыкания патрубков.

Сборка и закрепление прихватками одного или нескольких смежных патрубков, расположенных в одной плоскости со стаканом.

Контроль размеров собранного узла и подготовки кромок под сварку по периметру вокруг патрубка. При необходимости производят подгонку кромок и корректировку размеров. В связи с тем, что взаимное расположение деталей в узле определяет точность изготовления всей конструкции, на данной стадии должны быть заданы достаточно жесткие требования к геометрическим параметрам данной сборочной единицы. Например, в соответствии Норвежским стандартом DNV M – 101 отклонение от проектного положения патрубка по отношению к стакану не должно превышать по углу наклона $\pm 0,2^\circ$, смещение оси ± 6 мм.

Сварка осуществляется в соответствии с технологией, сертифицированной согласно EN 288 часть 3. При сварке необходимо соблюдать предписанную технологическим процессом последовательность выполнения сварных соединений, чтобы предотвратить сварочные деформации. Основные рекомендации сводятся к обеспечению симметрии протекания поперечной усадки при выполнении кольцевых швов (глава 3, рис. 3.42). С этой целью прихватки размещают симметрично, а каждый проход сварного шва начинают с диаметрально противоположного участка стыка. Рекомендуется использовать механизированную сварку сплошной или порошковой проволокой в защитных газах, как наиболее маневренный и производительный способ, и применять сварочные материалы, обеспечивающие получение металла шва с низким содержанием водорода.

При разработке технологии сварки внимание должно быть сфокусировано на обеспечении полного проплавления корня шва сварного соединения для исключения концентрации напряжений от непровара и, особенно, плавному очертанию облицовочных швов.

Относительно небольшая высота патрубков во многих случаях позволяет выполнять сварку швов с двух сторон, что способствует лучшему формированию профиля корня шва и повышению усталостной прочности. В случае двухсторонней разделке кромок после 3^x или 4^x проходов производят зачистку корня шва с внутренней стороны патрубка и магнитно-порошковый контроль корня шва. Затем заполняют разделку шва и заваривают облицо-



Оборудование и технологии сварочного производства

вочный шов. Его рекомендуется выполнять одиночными валиками без поперечного колебания электрода (рис. 6.6). Для уменьшения остаточных напряжений и вероятности образования закалочных структур рекомендуется выполнять отжигающие валики. Для устранения подрезов и обеспечения плавного профиля шва производят механическую обработку (зачистку) профиля перехода от шва к основному металлу абразивным инструментом. При этом допустимая величина углубления в основной металл регламентирована в зависимости от толщины стенки (рис. 6.6). Необходимо особое внимание обращать на участки прерывания и повторного возбуждения дуги.

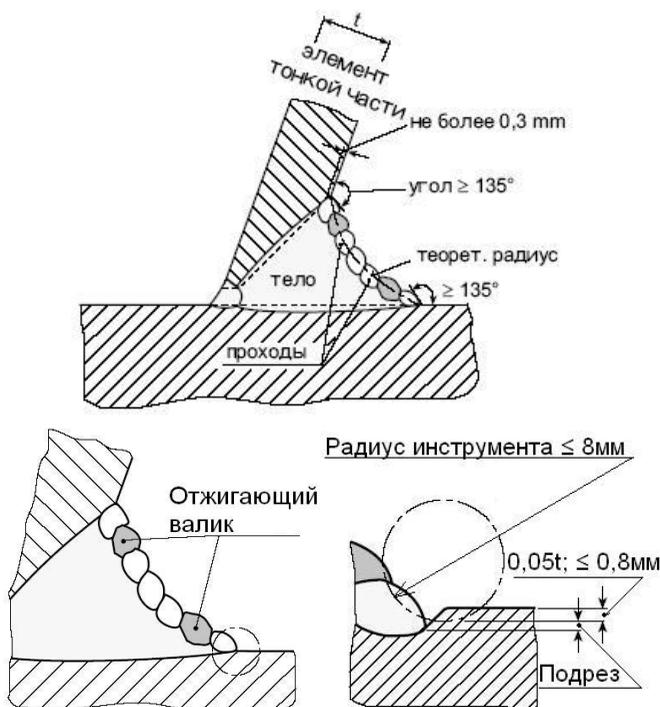


Рис. 6.6. Выполнение облицовочного шва.

После выполнения сварки всех патрубков производят высокий отпуск сваренного узла для снижения уровня остаточных напряжений и улучшения механических характеристик металла шва. Общую термическую обработку всего узла после сварки выполняют в тех случаях, когда иным способом технологический процесс не обеспечивает требуемую величину ударной вязкости металла сварных швов, либо когда при сварке свободное



Оборудование и технологии сварочного производства

перемещение деталей ограничено и ожидается появление тельных по величине остаточных напряжений. Термообработку рекомендуется выполнять в печи. При проведении местной термообработки необходимо обеспечить равномерное распределение температуры в зоне шириной не менее трех толщин в каждую сторону от шва.

После термообработки проводят окончательный комплексный контроль всех швов, включающий следующие методы: визуальный и измерительный (ВИК), магнитно-порошковый для выявления подрезов, несплавлений и трещин, выходящих на поверхность, и ультразвуковой контроль внутренних дефектов швов и расслоений в основном металле.

Если требуется, то производят подгонку торцов узла и окончательный контроль размеров сборочной единицы. Особое внимание должно быть уделено проверке тех размеров, которые имеют существенное значение для конструкции, например, прямолинейность элементов, овальность труб, эксцентриситет осей элементов в узле, и т.д.

Сборочные единицы можно рассматривать как промежуточный этап между деталями, изготавливаемыми в заводских условиях, общей сборкой укрупненных блоков и монтажом.

На втором этапе в условиях монтажной площадки завода-изготовителя производится изготовление вначале укрупненных сборочных единиц, затем монтажного блока опоры морской буровой платформы методом последовательного наращивания.

Последовательность сборки и сварки показана на рис. 6.7. Последовательность выполнения сварных швов должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечить свободное протекание деформаций поперечной усадки при сварке кольцевых швов, соединяющих узлы с раскосами. Рекомендуемую последовательность должна быть указана в картах технологического процесса.

Не допускается при сборке создавать в элементах конструкции натяжение или изгиб с целью совмещения свариваемых кромок, так как это может привести к появлению трещин в сварных швах. Все погрешности позиционирования деталей должны быть устранены до сварки. Временное закрепление деталей перед сваркой рекомендуется выполнять с помощью прихваток. Необходимо свести к минимуму использование привариваемых планок, скоб и других монтажных элементов для временного закрепления деталей.

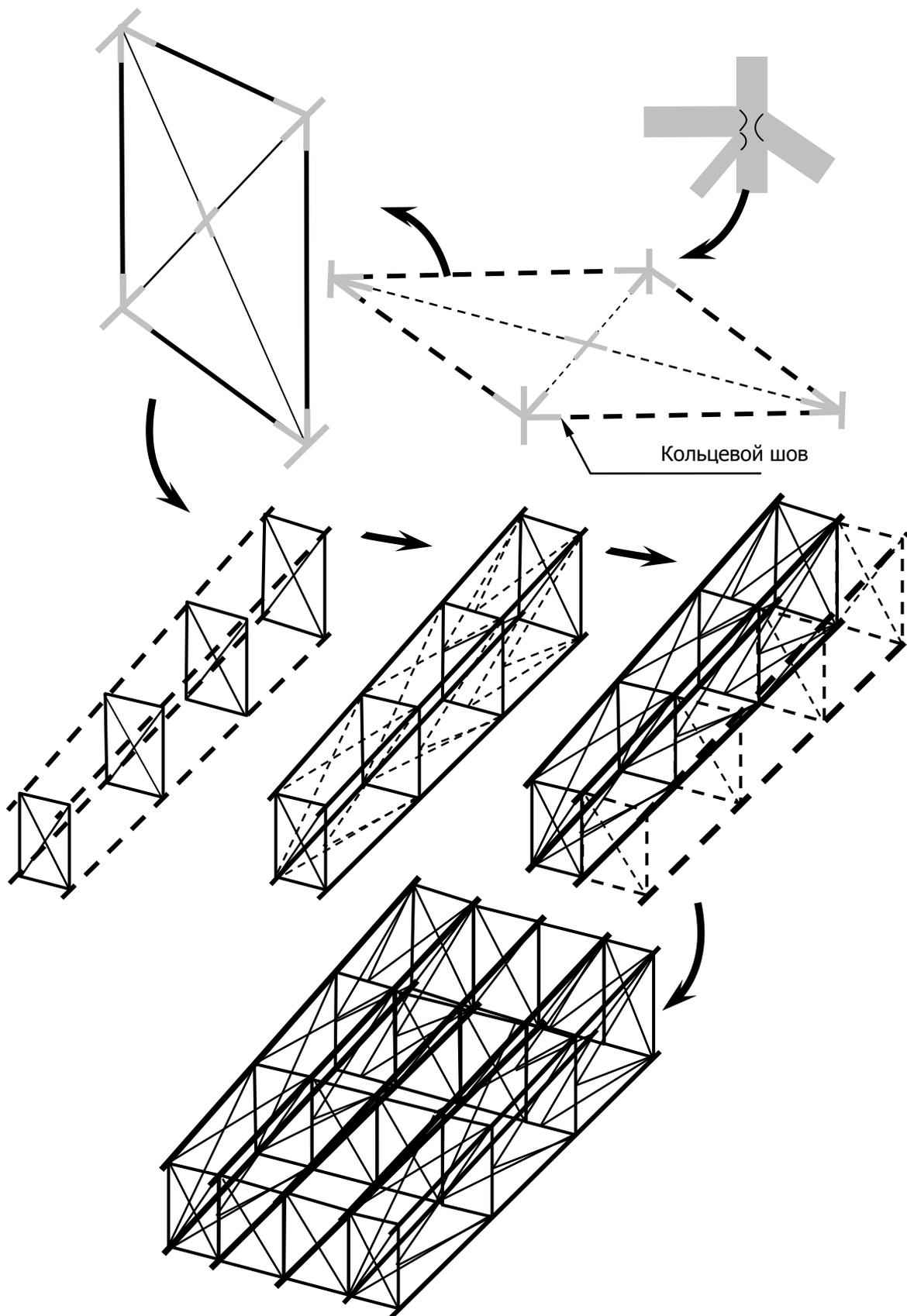


Рис. 6.7. Последовательность сборки и сварки при изготовлении решетчатой конструкции опоры морской буровой платформы



В тех случаях, когда такой способ закрепления используется, после сварки монтажные элементы должны быть удалены, а места их крепления зашлифованы абразивным инструментом без повреждения поверхности деталей.

Зоны сборки элементов, в особенности те, в которых проводится сварка, должны быть защищены специальными укрытиями от влияния неблагоприятных погодных условий (дождя и ветра и др.). Сварку при низких температурах окружающего воздуха необходимо проводить с предварительным подогревом.

В случае, когда производится сварка в среде защитного газа, особое внимание должно быть уделено обеспечению соответствующей защиты от сквозняка. При проведении работ на открытом воздухе при неблагоприятных погодных условиях необходимо перед сваркой просушить свариваемые кромки, подвергая их предварительному нагреву до температуры около 50°C.

По завершению работ на монтажной площадке предприятия – изготовителя производят контроль качества сварных соединений и контроль геометрических параметров монтажного блока.

На третьем этапе монтажный блок (решетчатую опору платформы) транспортируют на барже к месту эксплуатации и производят монтаж платформы.

Рассмотренный пример относится к технологии изготовления уникальных конструкций. Несмотря на большие перспективы использования морских буровых платформ, трудно предположить, что объем производства таких конструкций будет превышать несколько десятков в год. Тем не менее, технологические приемы, рассмотренные в данном разделе, полезно использовать при изготовлении других решетчатых конструкций из трубчатых элементов.

6.2. Изготовление решетчатых конструкций в условиях массового производства

В рассмотренных выше примерах снижение трудоемкости изготовления достигалось, главным образом, за счет уменьшения затрат времени на фиксирование взаимного расположения отдельных деталей решетчатых конструкций путем применения специальной технологии сборки (метод копирования) или универсальной переналаживаемой и специализированной сборочной оснастки. Причем, в зависимости от сложности конструкции, опера-



Оборудование и технологии сварочного производства

ция разметки устраняется полностью (например, сборка плоских ферм в кондукторе) или частично (сборка опоры буровой платформы). Операции сборки деталей и сварки в условиях индивидуального и серийного производства остаются маломеханизированными и трудоемкими.

Существенное повышение производительности может быть достигнуто в условиях массового производства, когда экономически оправданной становится комплексная механизация всего цикла изготовления решетчатой конструкции.

Максимальный эффект можно получить за счет создания систем машин, целиком охватывающих весь технологический процесс, т.е. создания автоматических линий, выполняющих не только сборочно-сварочные операции, но и заготовительные, вспомогательные и др.

В качестве примера рассмотрим автоматическую линию фирмы «ESAB» по производству решетчатого настила. Настил (рис. 6.8) состоит из набора вертикально расположенных полос сечением 25x2 мм и поперечных стержней диаметром 5 мм с шагом 50 мм. Линия выпускает настилы с максимальным размером 1200x1200 мм. Возможны три степени регулирования, как по ширине, так и по длине. Настил используют для покрытия площадок, лестничных ступенек, полов и др.

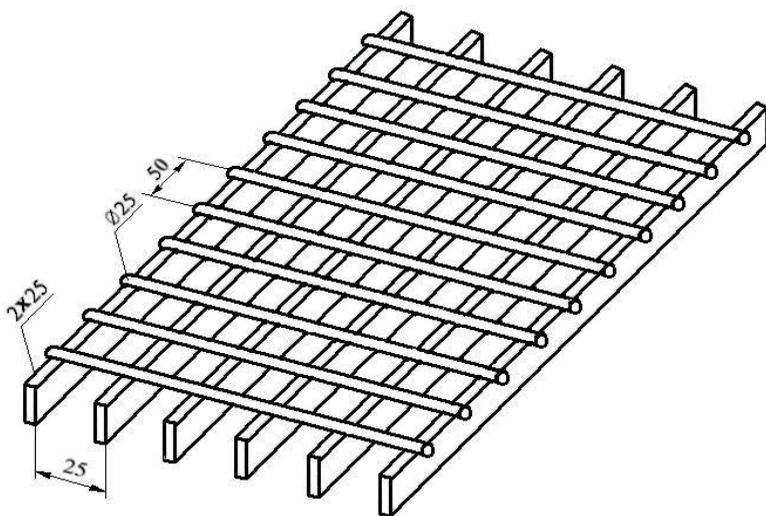


Рис. 6.8. Решетчатый настил (диаметр прутка 5 мм)

Линия (рис. 6.9) работает следующим образом. На разма-
тыватель 1 подают в рулоне стальную ленту шириной 1250



Оборудование и технологии сварочного производства

и толщина 2 мм. Лента проходит через агрегат 2 для резки полос, который распускает ее на полосы $25 \pm 0,3$ мм. Крайние полосы, имеющие непостоянную ширину, удаляют в отход, наматывая для компактности на кассету 3. Остальные полосы проходят далее до специального устройства 6, осуществляющего поворот каждой полосы на 90° из горизонтальной в вертикальную плоскость. Дальнейшее перемещение полос осуществляется по отдельным каналам, фиксирующим заданный шаг полос в машине для контактной сварки 7.

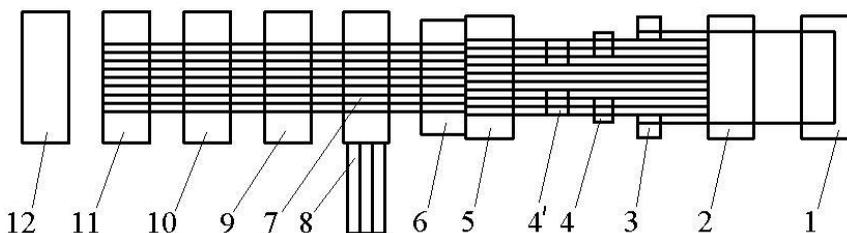


Рис. 6.9. Схема автоматической линии изготовления решетчатого настила.

Поперечные стержни подают в контактную машину из питателя 8, которые с помощью ориентирующего устройства фиксируются под электродами машины перпендикулярно продольными полосами настила. На каждом цикле питатель подает два стержня, фиксируемых с шагом 50 мм. При включении сварочной машины электроды прижимают стержни к торцам полос и осуществляют рельефную сварку. При этом в каждой паре сварных соединений ток проходит от одного электрода к другому через стержень, полосу, медную подкладку и второй стержень. Мощность сварочной машины 900 кВа. После сварки решетка перемещается с помощью шагового механизма 9 на 100 мм, цикл сборки и сварки повторяется. Ножницы 10 разрезают решетки на отрезки заданной длины. Далее пластины по рольгангу поступают на штабель 11 и затем на промежуточное складочное место.

Длина настила регулируется соответствующей установкой контактного датчика, включающего ножницы 10. Ширина настила регулируется ограничением количества полос, проходящих через поточную линию. При использовании ленты шириной 1250 мм лишние полосы временно наматывают на барабан 4, либо на барабаны 4 и 4' и хранят в кассетах. В дальнейшем кассеты устанавливают на барабан разматывателя 1 и используют для производства настилов. Для синхронизации работы сварочной



Оборудование и технологии сварочного производства

машины и дисковых ножниц служит накопитель 5, выполненный в виде колодца, куда путем периодического включения дисковых ножниц подают некоторый запас полос в виде петли.

Обычно линию настраивают на выпуск настилов максимальной ширины, а для получения узких настилов (например, шириной 250 мм, используемых для ступенек) применяют станки для продольной резки абразивными кругами.

Следует обратить внимание на следующие удачные технологические решения:

1. Для продольных элементов решетки используется широкополосный рулонированный прокат. Это обеспечивает непрерывность процесса производства и сокращает до минимума отходы металла. Использование рулонированного проката является перспективным технологическим приемом и находит широкое применение в других технологических процессах, например при производстве труб.

2. Отходы металла, получаемые при обрезке ленты по ширине, наматывают на кассеты, получая тем самым компактные и удобные для транспортировки бухты.

3. Применение промежуточных накопителей полосы 4 и 4' позволяет устранить жесткие ограничения на ширину листового проката, используемого при изготовлении настила заданной ширины, что является несомненным достоинством технологии.

Рассмотрим работу исполнительных механизмов автоматической линии.

Разматыватель - предназначен для хранения листового рулонированного проката или предварительно изготовленных и свернутых в бухты полос. Работает он следующим образом. Рулон с помощью подъемного крана устанавливают на транспортную тележку и надевают на ось разматывателя, имеющего разжимные центрирующие кулачки. При работе автоматической линии перемещение листового проката осуществляется дисковыми ножницами. Ось разматывателя и прижимной ролик оказывают некоторое сопротивление разматыванию рулона, создавая натяг ленты, необходимый для ее правки.

Агрегат для резки полос (рис. 6.10) - состоит из двух роликов 3 и 5, осуществляющих перемещение ленты 4, и дисковых ножниц, которые представляют собой два ряда расположенных в шахматном порядке дисков (ножниц) 1 и 6, толщиной 25 мм. Между дисками имеются резиновые шайбы 2 и 7, которые компенсируют искривлению полос в процессе резки.

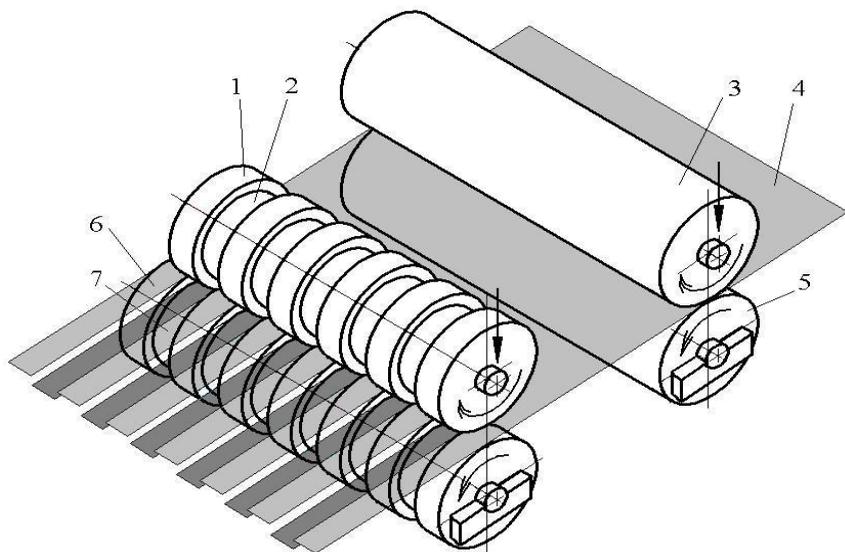


Рис. 6.10. Схема агрегата для резки листа на полосы.

Устройство для поворота плоскости полосы в вертикальное положение представляет собой две гребенки с шагом зубьев 25 мм. Схему работы устройства иллюстрирует рис. 6.11.

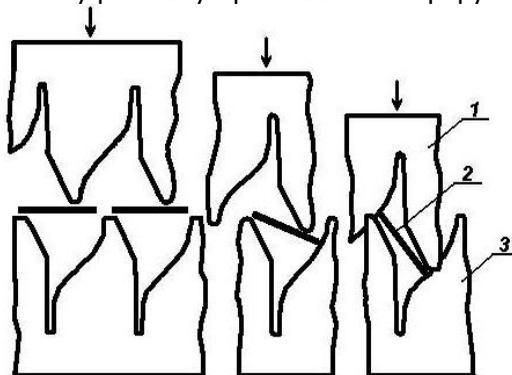


Рис. 6.11. Устройство для поворота плоскости полосы.

Схема питателя, предназначенного для поштучной подачи поперечных стержней в машину для контактной сварки, показан на рис. 6.12. Кассеты 10 с под-готовленными заранее стерж-



Оборудование и технологии сварочного производства

нями устанавливают на лоток и, открывая шиберную заслонку, загружают бункер 1. В нижней части бункера имеются пазы, рез которые проходят два ряда эксцентриков 3. При вращении эксцентриков в направлении, показанном стрелками, происходит поштучное ориентирование стержней относительно паза магазина 4, где они выстраиваются одним слоем в вертикальной плоскости. Для поштучной выдачи стержней на ленту транспортирующего устройства 6 служит отсекающий механизм 5, состоящий из двух фиксаторов, поочередное включение которых с помощью электромагнитного привода позволяет выдавать из магазина стержни по одному. Попав в транспортирующее устройство, стержень фиксируется в нем с помощью клиновидного желоба и электромагнитов 7, установленных под лентой транспортера.

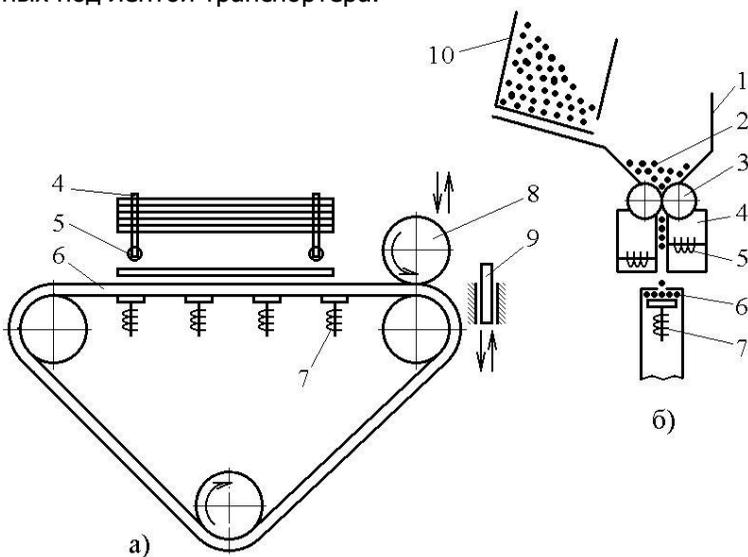


Рис. 6.12. Схема поштучной выдачи поперечных стержней:
 а - вид прямо; б - поперечное сечение

При движении ленты стержень перемещается до упора в заслонку 9, регулирующую загрузку сварочной машины. После поступления сигнала о том, что сварочная машина подготовлена к загрузке поперечных стержней, заслонка автоматически открывается, а ролик 8 опускается до контакта со стержнем. В результате этого стержень с большой скоростью перемещается в загрузочное устройство сварочной машины.

Схема сварочной машины показана на рис. 6.13. Положение продольных элементов настила 5 фиксируется пазами 4 в основании машины. Загрузочное устройство 2, совершая колеба-



Оборудование и технологии сварочного производства

тельное движение, укладывает стержни поочередно в правый и левый кондукторы 3, закрепленные на основании машины в промежутках между пазами. После сборки гидравлический пресс опускает электроды сварочной машины 1 и производит рельефную сварку одновременно двух стержней со всеми продольными полосами.

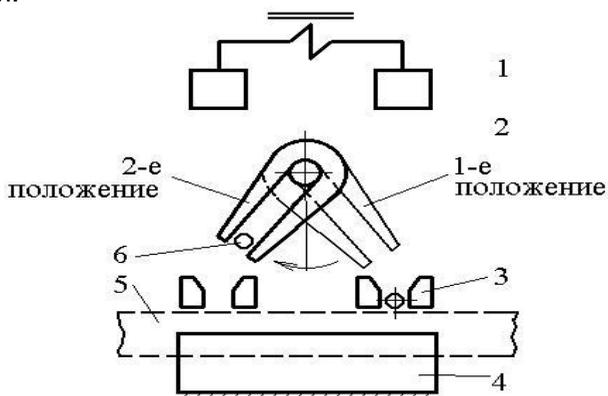


Рис. 6.13. Схема укладки поперечных стержней в сварочной машине.

Работу ножниц для резки решетки иллюстрирует рис. 6.14.

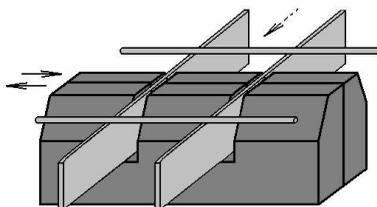


Рис. 6.14. Схема поперечной резки настила.

Перемещение подвижного ножа осуществляется гидроприводом по команде датчика длины решетки.

Схема *штабелёра* изображена на рис. 6.15. Он состоит из двух направляющих 1, внутри которых звездочка 4 осуществляет перемещение цепи 6 с закрепленными на ней треками 5.

Перемещаясь по рольгангу 7, решетка 3 заходит в штабелёр. При этом концы поперечных стержней попадают на тефлоновые направляющие 2 между треками 5. Дальнейшее движение решетки осуществляется за счет перемещения цепи. После того,



Оборудование и технологии сварочного производства

как решетка выйдет за пределы рольганга 7 и полностью войдет в штабелёр, включается привод отклонения направляющих 1 (показано стрелками), и решетка под собственным весом падает на рольганг 8. После накопления штабеля заданной высоты, фотореле подает сигнал на включение привода рольганга 8, и собранные в штабель решетки перемещаются на место промежуточного складирования.

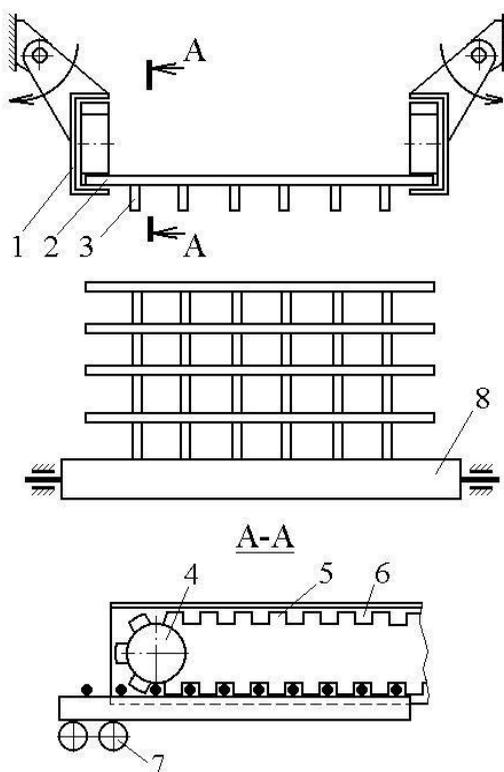


Рис. 6.15. Схема штабелера.

Автоматическая линия включает ещё несколько агрегатов, предназначенных для выполнения отделочных операций, которые не имеют прямого отношения к рассматриваемой теме.



7. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

7.1. Особенности проектирования технологии изготовления

Сосуды, работающие под давлением, предназначены для хранения, переработки или перевозки жидких и газообразных продуктов. Обычно они имеют цилиндрическую, коническую, сферическую или тороидальную форму. Это барабаны котлов, теплообменники, газовые баллоны, аппараты нефтяной и химической промышленности. Характерной особенностью эксплуатации этих конструкций являются воздействие внутреннего давления (свыше 0,07МПа), высоких температур, коррозионно-активных сред. Их разрушение может сопровождаться большими материальными потерями или человеческими жертвами, что является основанием для того, чтобы отнести эти конструкции к категории опасных технических устройств, изготовление, монтаж и ремонт которых выполняют при неукоснительном соблюдении требований нормативных документов и Правил, утвержденных государственными органами технического надзора, в частности, органами Ростехнадзора России.

Основными нормативными документами, регламентирующими требования к проектированию и изготовлению сосудов, являются ПБ 03-584-03 – Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных; ОСТ 26-291-94 – Сосуды и аппараты стальные сварные. В зависимости от величины расчетного давления, температуры стенки и характера рабочей среды Правилами ПБ 03-584-03 сосуды разделены на шесть групп (табл. 7.1). Требования к технологии изготовления и нормы качества сварных соединений различных сосудов, относящихся к различным группам могут существенно отличаться.



Таблица 7.1.

Группы сосудов

Группа	Расчетное давление МПа (кгс/см ²)	Температура стенки, °С	Рабочая среда
1	2	3	4
1	Более 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная или 1-го , 2-го классов опасности
2	Более 0,07 (0,7) до 2,5 (25)	Выше 400	Любая за исключением указанной для 1-ой группы сосудов
	Более 2,5 (25) до 5,0 (50)	Выше 200	
	Более 5,0 (50)	Независимо	
	Более 4,0 (40) до 5,0 (50)	Ниже минус 40	
3	Более 0,07 (0,7) до 1,6 (16)	Ниже минус 20 От 200 до 400	
	Более 1,6 (16) до 2,5 (25)	До 400	
	Более 2,5 (25) до 4,0 (40)	До 200	
	Более 4,0 (40) до 5,0 (50)	От минус 40 до 200	
4	Более 0,07 (0,7) до 1,6 (16)	От минус 20 до 200	
5а	До 0,07 (0,7)	Независимо	
5б	До 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывобезопасная или пожаробезопасная 4-го класса опасности

Существует ряд других отечественных отраслевых¹⁷, национальных и международных нормативных документов, регла-

¹⁷ ПБ 10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.



Оборудование и технологии сварочного производства

ментирующих технологию изготовления сварных сосудов, работающих под давлением. Организации аналогичные Ростехнадзору РФ, осуществляющие государственный надзор за изготовлением, монтажом, ремонтом и эксплуатацией сосудов имеются во всех промышленно развитых странах.

Следует заметить, что требования к качеству и, как следствие, к технологии изготовления определяется экономическими соображениями и допустимой степенью риска достижения желаемого результата. Поэтому цель, которую ставит перед собой инженер при разработке технологии изготовления сварной конструкции, созвучна с выражением: «Лучшее – это всего лишь достаточно хорошее», т.е. соответствующее требованиям нормативных документов.

Благодаря более высокой технологичности наибольшее распространение получили сосуды цилиндрической формы с полусферическими, сферическими, полуэллиптическими и, реже, плоскими днищами. В некоторых случаях, когда определяющим фактором являются вес конструкции, предпочтение отдают сосудам сферической формы.

При сварке обечаек и приварке днищ к обечайкам следует применять только стыковые швы с полным проплавлением.

На корпусе сосуда имеются штуцеры, патрубки, люки, лазы, опорные стойки и другие элементы крепления. Внутри корпуса могут располагаться детали и механизмы для осуществления технологического процесса.

При приварке штуцеров, люков, труб, трубных решеток, плоских днищ и фланцев допускается применять угловые и тавровые швы. Их также следует выполнять с полным проплавлением, но в некоторых случаях, например при малом диаметре труб, допускаются соединения с конструктивным непроваром.

Допускается применять нахлесточные швы для приварки укрепляющих колец и опорных элементов.

Днища и обечайки изготавливают из листового проката, путем гибки или штамповки в холодном или горячем состоянии в зависимости от толщины металла. С целью сокращения трудоем-

РД 153-34.1-003-01 (РТМ-1с). Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования.

РД 2730.940.102-92. Котлы паровые и водогрейные, трубопроводы пара и горячей воды. Сварные соединения. Общие требования.

ОСТ 26.260.3-2001 Сварка в химическом машиностроении. Основные положения.



кости сварочных работ рекомендуется выбирать листовой прокат максимально возможной ширины. Например, отношение ширины заготовки к диаметру днища находится в пределах 1,25...1,45. Если при изготовлении полуэллиптического днища для обечайки из металла толщиной 12 мм, диаметром 1800 мм взять в качестве исходной заготовки лист шириной 1250 мм, то потребуется две заготовки, которые будет необходимо соединить между собой сварным швом по диаметру. При выборе листа шириной более 2300 мм днище можно выполнить без сварных швов. Максимальная ширина листового проката, предусмотренная сортаментом для толстолистовой стали, 3600 мм, что позволяет изготовить без сварки днище диаметром не более 2600 мм. Поэтому необходимость укрупнения заготовок с помощью сварки при производстве сосудов возникает достаточно часто. Расположение сварного шва на заготовке может существенно повлиять на качество выполнения операции штамповки, поэтому ПБ 03-584-03 и ОСТ 26-291-94 накладывают ограничения на допустимое расположение сварного шва на заготовке днища (рис.7.1).

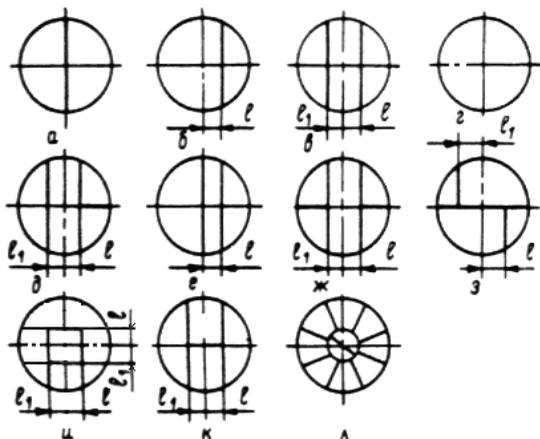


Рис. 7.1. Допустимое расположение сварных швов на заготовке днища
(l и l_1 не более $1/5$ внутреннего диаметра днища).

В зависимости от назначения и условий эксплуатации сосуда изготавливают из сталей (малоуглеродистых, низколегированных, легированных), сплавов на основе железа и никеля, сплавов алюминия, титановых сплавов, медных сплавов и других конструкционных материалов, но наиболее широкое применение



находят стали.

При выборе материалов для изготовления сосудов (сборочных единиц, деталей) следует учитывать: расчетное давление, температуру стенки (минимальную и максимальную), химический состав и характер среды, технологические свойства и коррозионную стойкость материалов.

Для сосудов, устанавливаемых на открытой площадке или в не отапливаемом помещении, при выборе материалов также следует учитывать:

- абсолютную минимальную температуру наружного воздуха данного района, если температура стенки сосуда, находящегося под давлением, может стать отрицательной от воздействия окружающего воздуха;
- среднюю температуру воздуха наиболее холодной пятидневки данного района, если температура стенки сосуда, находящегося под давлением, положительная.

Для сосудов и аппаратов нефтяного и химического машиностроения рекомендуются двухслойные стали с основным слоем из углеродистой или низколегированной стали, плакирующим из легированной стали со специальными свойствами. Например, в следующих сочетаниях: сталь 20К+сталь 08Х13; сталь 12ХМ+сталь 08Х13; Ст3+1Х18Н9Т; сталь 20К+сталь 1Х18Н12М2Т. Двухслойные стали изготавливаются толщиной от 5мм до 50мм с облицовочным слоем 0,5 - 5мм.

Поскольку сосуды, работающие под давлением, относятся к оборудованию опасных технических устройств, их производство должно соответствовать Руководящим документам Органов государственного надзора, в частности, удовлетворять требованиям РД 03-613-03¹⁸; РД 03-614-03¹⁹; РД 03-615-03²⁰, предписывающим порядок применения сварочных технологий, сварочных материалов и сварочного оборудования.

В соответствии с этими документами сварочные материалы, оборудование и технологии, применяемые при производстве сосудов, работающих под давлением, должны пройти аттестацию

¹⁸ РД 03-613-03, Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов

¹⁹ РД 03-614-03, Порядок применения сварочного оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов

²⁰ РД 03-615-03, Порядок применения сварочных технологий при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов



с целью подтверждения возможности обеспечения качества сварных соединений при их применении. К выполнению сварочных работ, а также к руководству и техническому надзору за выполнением работ, допускаются только сварщики и специалисты сварочного производства, аттестованные в соответствии с ПБ 03-273-99²¹, РД 03-495-02²².

Изготовление сосудов, работающих под давлением и их элементов должны выполнять специализированные организации, располагающими техническими средствами, необходимыми для качественного выполнения работ, по технологии, разработанной до начала работ организацией, их выполняющей.

При изготовлении должна применяться система контроля качества, включающая входной, операционный и приемочный контроль, обеспечивающая выполнение работ в соответствии с требованиями нормативной документации.

Сосуды и их элементы из углеродистых, а также низколегированных марганцовистых и марганцово-кремнистых сталей, изготовленные с применением сварки, штамповки или вальцовки, подлежат обязательной термообработке, если:

- толщина стенки цилиндрической обечайки, днища, фланца или патрубка сосуда в месте их сварного соединения более 36 мм для углеродистых сталей и более 30 мм для сталей низколегированных марганцовистых, марганцово-кремнистых;

- номинальная толщина стенки цилиндрических сосудов (патрубка), изготовленных из листовой стали вальцовкой (штамповкой), превышает величину $s_{кр}$, вычисленную по формуле:

$$s_{кр} = 0,009(D + 1200),$$

где D - минимальный внутренний диаметр, мм;

- сосуды предназначены для эксплуатации в средах, вызывающих коррозионное растрескивание;

- днища и другие элементы штампуются (вальцуются) при температуре окончания штамповки (вальцовки) ниже 700°C;

- днища сосудов и их элементы независимо от толщины изготовлены холодной штамповкой.

Сосуды и их элементы из сталей низколегированных хромомолибденовых, хромомолибденованадиевых, сталей мартенситного класса и двухслойных с основным слоем из сталей этого типа и класса, изготовленные с применением сварки, должны

²¹ ПБ 03-273-99, Правила аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства

²² РД 03-495-02, Технологический регламент проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства



Оборудование и технологии сварочного производства

подвергаться термической обработке независимо от диаметра и толщины стенки.

Завершающим этапом изготовления сосудов является контроль качества сварных соединений. К основным методам контроля стыковых, угловых, тавровых и других сварных соединений сосудов и их элементов днищ, обечаек, штуцеров, люков, фланцев, включая соединения люков и штуцеров с корпусом сосуда, относятся ультразвуковая и радиографическая дефектоскопия. Объем контроля зависит от группы сосудов (табл. 7.1.). Сварные соединения сосудов первой и второй групп подлежат 100% контролю, у сосудов третьей группы контролируют 50%, а четвертой – 25% длины каждого шва.

Места сопряжений (пересечений) сварных соединений подлежат обязательному контролю.

Для сосудов 3-й и 4-й групп места контроля устанавливаются по результатам внешнего осмотра после окончания сварочных работ.

Все сосуды после их изготовления подлежат гидравлическому испытанию давлением, превышающим номинальную величину на 25%.

Технология выполнения заготовительных, сборочных и сварочных операций, выбор способов сварки и оборудования зависят от вида конструкционного материала, размеров сосуда и в значительной мере от толщины металла.

Для удобства дальнейшего рассмотрения типовых технологических процессов целесообразно выделить три группы сосудов: тонколистовые (тонкостенные) сосуды, сосуды из металла средней толщины и толстолистовые (толстостенные) сосуды. Это деление условное. Оно не соответствует принятому делению на тонколистовой и толстолистовой металл, где границей является 3,9 мм, не совпадает также с делением на тонкостенные и толстостенные сосуды, где в качестве границы принимают отношение диаметра к толщине равное 10.

К тонкостенным по технологическим признакам относят сосуды с толщиной стенки до 5 мм. Как правило, для таких сосудов цилиндрическую часть и днище можно изготовить из одного листа без укрупнения заготовки. Сварные швы выполняют с одной стороны и, обычно, за один проход, что вызывает необходимость предусматривать специальные меры предотвращения непровара корня шва. Сварку выполняют в среде защитных газов плавящимся или неплавящимся электродом. Из-за малой толщины стенки при сварке могут появляться большие временные дефор-



мации кромок и для их предотвращения должны быть приняты специальные меры.

К сосудам из металла средней толщины относятся сосуды с толщиной стенки от 8 мм до 30...40 мм. Основным способом сварки при их изготовлении является автоматическая сварка под флюсом. Их размеры по диаметру превышают 1000 мм, а по длине 2000 мм. Размеры заготовки для их изготовления превышают размеры сортамента листового проката, поэтому требуется либо произвести укрупнение заготовки, либо вначале изготовить отдельные части сосуда, затем произвести сборку и сварку их. Сварку соединений обычно выполняют с двух сторон.

К толстостенным относятся сосуды с толщиной стенки более 30...40 мм. Большая толщина стенки обуславливает необходимость выполнять операции гибки в горячем состоянии металла, нередко сварку требуется выполнять с подогревом, а после сварки назначать термическую обработку для снижения уровня остаточных напряжений и улучшения структуры металла шва. Для продольных швов обечаек и заготовок днищ применяют электрошлаковую сварку, обеспечивающую большую производительность. Для кольцевых стыков – автоматическую сварку под флюсом. В последнее время все чаще используют сварку стыка со щелевой или узкой разделкой кромок, с углом раскрытия менее 15°. Эти способы позволяют уменьшить объем наплавленного металла и, вследствие малой погонной энергии сварки, исключить необходимость термической обработки после сварки.

Существует несколько разновидностей способов сварки соединений деталей с углом разделки кромок менее 15°: под флюсом, в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки. Следует обратить внимание на то, что применение разделки с углом раскрытия кромок менее 15° значительно повышает требования к технологической культуре производства, качеству сварочных материалов и стабильности работы сварочного оборудования. Например, чтобы исключить появление непровара и несплавления кромок, требуется обеспечить точное направление электрода по стыку, в связи с чем предъявляются более высокие требования к точности подготовки кромок, точности сборки стыка обечаек, слежение за стыком в процессе сварки, более высокие требования к качеству работы механизма правки и подачи проволоки. При сварке под флюсом требуется применение флюсов, обеспечивающих хорошее отделение флюсовой корки от поверхности шва, чтобы не допустить появления шлаковых включений.



Оборудование и технологии сварочного производства

Несмотря на определенные технологические сложности, необходимо стремиться к расширению применения узкой разделки при сварке металла большой толщины, т.к. этот значительно сокращает трудоемкость изготовления.

7.2 . Типовые технологии изготовления тонкостенных сосудов

Цилиндрические сосуды давления конструктивно включают следующие элементы (рис. 7.2): цилиндрическую обечайку; днища полуэллиптические или полусферические; патрубки, ввариваемые в днища либо в цилиндрическую часть.

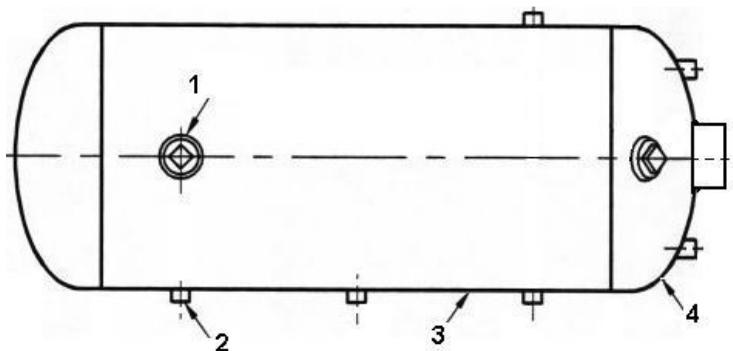


Рис. 7.2. Конструкция цилиндрического сосуда давления (1 – заглушка; 2 – штуцер; 3 – обечайка; 4 – днище).

При изготовлении сосуда необходимо обеспечить правильную цилиндрическую форму обечайки в месте стыка. Различные схемы гибки листового металла, применяемые для получения цилиндрических обечаек, показаны на рис. 7.3.



Рис. 7.3. Схемы гибки листовых заготовок цилиндрических обечаек.

При гибке на трехвалковых вальцах (рис.7.3а) в месте стыка остаются прямые недовалцованные участки, ширина которых приблизительно равна половине расстояния между нижними валками h . Наличие прямых участков затрудняет сборку, ухудшает теплоотвод при сварке, а при нагружении сосуда внутренним давлением способствует концентрации напряжений в районе шва. Для предотвращения появления такого дефекта можно рекомендовать несколько приемов. Использовать для гибки заготовки четырехвалковые вальцы (рис. 7.3б,в) или перед гибкой листа на трехвалковых вальцах произвести подгибку кромок под прессом (рис. 7.3г,д,е).

Интерес представляет недавно разработанная фирмой Weldlogic схема и оборудование для гибки тонколистовых обечаек на двухвалковых вальцах, у которых один из валков покрыт слоем упругого материала, например, полиуретаном (рис. 7.4). Изгиб листа осуществляется за счет вдавливания его в упругий слой нижнего валка. При вращении валков происходит перемещение листа и изгиб новых участков. Кривизна оболочки определяется глубиной вдавливания. Из-за недостаточной прочности материала, используемого для упругого слоя нижнего валка, такая схема применяется для гибки металла толщиной до 2...3 мм.



Оборудование и технологии сварочного производства



Рис. 7.4. Схема гибки тонкостенных обечаек на двухвалковых машинах.

Сборку и сварку продольного стыка производят на установке, оснащенной консолью с формирующей шов медной подкладкой, к которой прижимают стыкуемые кромки (рис. 7.5).

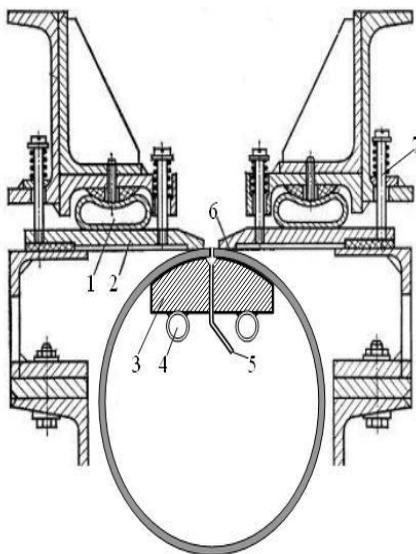


Рис.7.5. Стенд для сварки обечаек тонкостенных сосудов.

1. Пневмошланговый прижим.
2. Клавиши.
3. Формирующая шов подкладка.
4. Каналы для охлаждения подкладки.
5. Подвод газа для защиты корня шва.
6. Обечайка.
7. Подпружиненная штанга для вращения клавиш в исходное положение.

При сборке кромок тонкостенной обечайки необходимо стремиться к тому, чтобы обеспечить плотное и равномерное их прижатие к формирующей подкладке и предотвращение отхода кромок от нее вследствие протекания временных сварочных деформаций свариваемых кромок. Нарушение контакта между сва-



Оборудование и технологии сварочного производства

риваемыми кромками и формирующей шов медной подкладкой может привести к нарушению режима отвода тепла в технологическую оснастку и появлению прожогов.

Равномерное распределение усилия прижатия кромок вдоль стыка обеспечивается благодаря тому, что прижим состоит из отдельных клавиш шириной 40...60 мм, собранных в один ряд без зазора. Их приводом служит пневмошланг. Именно независимое движение отдельных клавиш позволяет создавать равномерное давление на кромки стыка. Величина усилия обычно составляет 10...20 кг на сантиметр длины кромок.

Перед сваркой в начале и в конце продольного стыка устанавливают выводные планки, чтобы исключить участки нестабильного формирования шва.

Продольный стык обечаек из цветных металлов и высокопрочных сталей выполняют автоматической сваркой в защитных газах плавящимся или неплавящимся электродом. Для обечаек из малоуглеродистой и низколегированной стали используют сварку под слоем флюса. Диаметр тонкостенных обечаек обычно не позволяет выполнять сварку с двух сторон шва, поэтому при односторонней сварке для формирования усиления корня шва на подкладке создают формирующую канавку, в которую подают защитный газ при сварке активных материалов. При сварке тонкостенных обечаек необходимо предъявлять более высокие требования к равномерности ввода сварочного тепла по длине шва, чтобы избежать появления дефектов в результате ухудшения отвода тепла из-за постепенного нагрева подкладки. Для предотвращения этого на подкладке размещают каналы для охлаждающей жидкости (воды).

После сварки продольного стыка удаляют выводные планки и производят механическую обработку торцов обечайки. Удалять выводные планки путем обламывания запрещено, поскольку это может привести к появлению трещин.

В ряде случаев для облегчения сборки кольцевых швов рекомендуется произвести калибровку обечайки.

Днища сосудов изготавливают путем штамповки под прессом из листовой заготовки с последующей торцовкой кромок на токарном станке. Если в конструкции предусмотрено размещение на днище арматуры: патрубков, заглушек или штуцеров, то их необходимо приварить до сборки днища с обечайками. С позиции технологичности патрубки и штуцеры желательно располагать вдоль центральной оси днища или перпендикулярно к его поверхности, если эти детали должны быть смещены от центра. Это



Оборудование и технологии сварочного производства

упрощает механизацию сварки швов, поскольку позволяет ориентировать днище так, что сварной шов будет расположен в плоскости, перпендикулярной оси привариваемого патрубка, и при выполнении сварки отпадает необходимость в вертикальном перемещении электрода (рис. 7.6а,б).

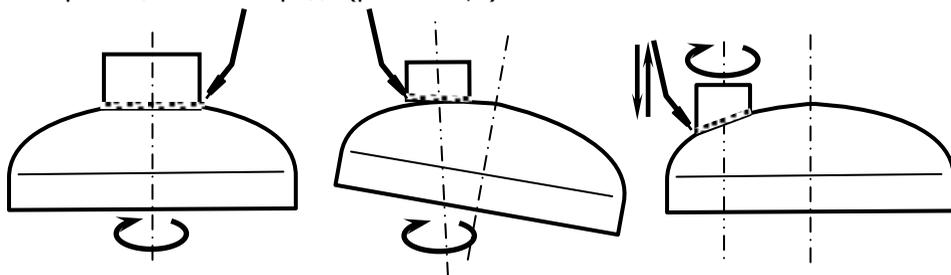


Рис. 7.6. Схемы приварки штуцера к днищу.

В противном случае (рис.7.6в) возникают дополнительные трудности направления электрода по стыку, т.к. помимо вращения сварочной головке необходимо обеспечить синхронное перемещение в вертикальном направлении. Аналогичные проблемы возникают при выполнении приварки штуцера к цилиндрической обечайке. Поэтому, на тонкостенных сосудах не рекомендуется размещать патрубки большого диаметра.

Сварку обычно выполняют угловыми швами с двух сторон плавящимся электродом в среде защитных газов, применяя наклонный вращатель с тем, чтобы обеспечить удобное положение для сварки в положении "в лодочку". Для материалов малочувствительных к концентрации напряжений допускаются соединения штуцеров с днищами выполнять рельефной сваркой.

При изготовлении высоконагруженных сосудов из высокопрочных материала (сталей, титановых и алюминиевых сплавов) соединения элементов арматуры со стенкой сосуда обычно делают стыковыми. Стыковые круговые швы выполняют односторонней сваркой на подкладке с канавкой. Вид сборочно-сварочной оснастки и конструктивное оформление стыка определяются необходимостью плотного прижатия кромок к подкладке, предотвращения их перемещений при сварке и устранения сварочных деформаций, приводящих к местному искажению формы оболочки в зоне шва. В зависимости от формы поверхности стенки сосуда (сферическая или цилиндрическая), материала и толщины свариваемых элементов, конструктивно-технологические решения



Оборудование и технологии сварочного производства

могут быть различными. Так, например, при варке фланца в сферический сосуд из алюминиевого сплава АМГ6 целесообразно использовать соединения с буртиком (рис. 7.7). Технологический буртик предназначен для передачи усилия прижатия фланца на оболочку, обеспечения соосности деталей и повышения жесткости кромки фланца. Наличие буртика позволяет упростить прижимное приспособление, так как усилие прижатия прикладывается только к фланцу, и предотвратить смещение кромок в процессе сварки, а также уменьшить местные искажения формы оболочки, возникающие в результате усадки кругового шва. Кроме того, отпадает необходимость в подаче присадочной проволоки, так как металл буртика участвует в формировании сварного шва.

При небольших размерах днища сварку кругового шва целесообразно осуществлять неподвижной сварочной головкой при вращении приспособления с закрепленным свариваемым изделием.

При приварке арматуры к цилиндрической части сосуда, или в тех случаях, когда днище имеет значительные размеры, круговой шов более удобно выполнять сварочной головкой, перемещающейся вокруг штуцера, закрепленного неподвижно (рис.7.8).

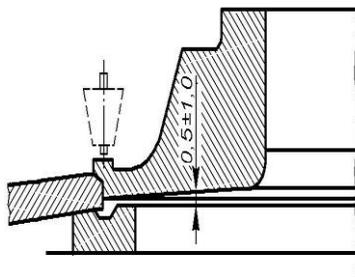


Рис. 7.7. Сварное соединение фланца с буртиком и днищем



Рис. 7.8. Приварка арматуры к обечайке

При сварке кольцевых швов, соединяющих обечайку и днища тонкостенного сосуда, могут возникать трудности обеспе-



Оборудование и технологии сварочного производства

чения сборки стыка без смещения кромок и сварки кромок без непровара и прожогов, поскольку во многих случаях эти швы доступны для сварки только с одной стороны.

Решением этой проблемы может стать применение съемных подкладных колец (рис. 7.9б), которые изготавливают в виде отдельных секций и размещают внутри сосуда под кольцевым стыком. Для того чтобы компенсировать возможное несоответствие диаметров обечайки и подкладного кольца между двумя соседними секциями устанавливают клиновой компенсатор 7, путем введения которого удастся увеличить периметр подкладного кольца и обеспечить плотное прижатие его к кромкам стыка. Для формирования усиления корня шва на подкладке выполняют канавку. Основным недостатком этой технологии является то, что ее невозможно использовать для сварки замыкающего кольцевого стыка, если в конструкции сосуда не предусмотрены достаточные по размеру люки или штуцеры.

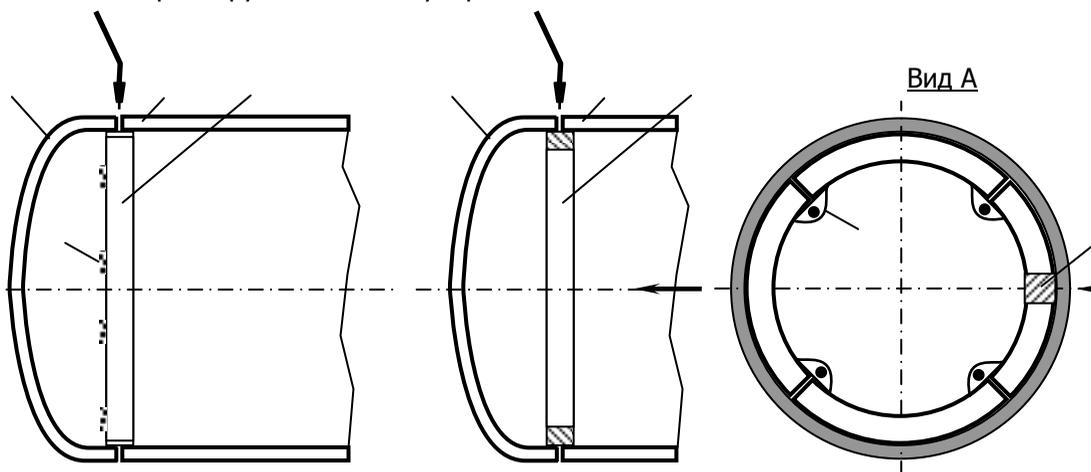


Рис. 7.9. Сборка кольцевых стыков на остающихся (а) и съемных подкладках (б).

(1 – днище; 2 – обечайка; 3 – остающаяся подкладка; 4 – прихватки; 5 – съемная подкладка; 6 – шарнир; 7 – клин-компенсатор).

Наиболее технологичным вариантом сборки и сварки цилиндрической части сосуда и днищ является использование остающихся подкладных колец (рис.7.9а), изготовленных из такого же материала, что и свариваемые элементы с толщиной, не пре-



вышающей толщину стенки свариваемого сосуда.

Наличие подкладных колец облегчает сборку стыка и центровку соединяемых элементов, обеспечивает гарантированное проплавление кромок и отсутствие непроваров в корне шва даже в тех случаях, когда возможно значительное колебание параметров режима сварки.

Однако во многих случаях применение такой технологии ограничено по следующим причинам:

1. В районе сварного соединения с подкладным элементом появляется более высокая концентрация напряжений при нагружении сосуда, что обуславливает снижение его работоспособности.

2. Зазор между подкладкой и стенкой сосуда способствует скоплению влаги или хранящегося продукта, что может привести к снижению коррозионной стойкости соединения из-за развития щелевого эффекта в полости между внутренней поверхностью стенки сосуда и подкладным кольцом.

3. Увеличивается металлоемкость конструкции, что в некоторых случаях является немаловажным фактором.

В тех случаях, когда по условиям эксплуатации применение остающихся подкладок не допускается, сварку замыкающего шва приходится выполнять на весу, без подкладного кольца. Сборку выполняют на прихватках с использованием наружных (обычно цепных) центраторов. При разработке технологии сварки необходимо уделять особое внимание обеспечению стабильности параметров режима в процессе выполнения шва, т.к. в противном случае возможно появление непроваров или прожогов. Негативное влияние могут оказать колебания напряжения в электрической сети цеха, изменение длины дугового промежутка, нестабильная скорость подачи электродной проволоки и др.

Сварку кольцевых стыков тонкостенных сосудов обычно выполняют в среде защитных газов. Для вращения изделия используют роликовые вращатели, но для сосудов малого диаметра (~ до 500мм) целесообразно применять цапфовые вращатели, позволяющие закреплять сосуд по его продольной оси, что повышает стабильность поддержания заданной величины дугового промежутка.

При сварке сосудов из титановых сплавов необходимо уделить внимание защите от окружающей атмосферы не только металла шва, но и основного металла, нагреваемого до температур выше 400 °С. С этой целью на сварочную головку устанавливают камеру (козырёк) дополнительно защищающую зону сварки,



а с внутренней стороны сосуда устанавливают камеры для поддува защитного газа.

После сварки производят контроль герметичности сосуда. Для этих целей используется несколько способов. Если к плотности швов предъявляются высокие требования, то применяют методы течеисскания с использованием гелиевых или галоидных течеискателей. В обычных случаях применяют пневматические методы. В сосуде создают небольшое избыточное давление и помещают его в ванну с водой. Места нарушения герметичности определяют по выделяющимся пузырькам воздуха. Данный метод применяется только для оценки герметичности сосуда. Для оценки прочности применяют гидравлические испытания, нагружая сосуд до давления, превышающее номинальную величины на 25%. Нагружение сосуда для этих целей газом (воздухом) недопустимо.

7.3. Изготовление сосудов из металла средней толщины

Диаметр и длина сосудов из металла средней толщины таковы, что в большинстве случаев стандартные размеры листового проката не позволяют изготовить цилиндрическую часть из одного листа. В связи с этим для их изготовления используют одну из двух технологий.

Первая – изгиб листовой заготовки относительно поперечной (короткой) оси листа, сварка продольного шва коротких обечаек и затем изготовление цилиндрической части сосуда путем сварки кольцевыми швами нескольких коротких обечаек между собой.

Вторая – изготовление плоского полотнища требуемых размеров путем сварки между собой листовых заготовок, затем гибка полотнища для получения цилиндрической обечайки и сварка продольного шва.

Вторая схема облегчает сборку и сварку стыков, так как все они располагаются в одной плоскости, но возникают определенные сложности кантовки крупногабаритного полотнища для сварки швов с противоположной стороны. Кроме того, для получения цилиндрической обечайки требуются специализированные вальцы с длинной валков, превышающей длину сосуда, как правило, длиной более 10 м. Такую схему изготовления можно реализовать только в условиях специализированного крупносерийного производства. В настоящее время единственным предприятием, на котором действует поточная линия с такой схемой изготовления сосудов, является завод тяжелого машиностроения в г.



Оборудование и технологии сварочного производства

Мареуполь (Украина), выпускающий железнодорожные цистерны объемом 60м^3 и 120м^3 .

Первая схема является универсальной, использует типовое, широко распространенное оборудование для гибки металла, сборки и сварки сосудов и поэтому находит более широкое применение.

Рассмотрим эту технологию более подробно.

Цилиндрические сосуды собирают из нескольких обечаек и двух полусферических или эллиптических днищ. К точности изготовления деталей предъявляют достаточно жесткие требования. Так, например, их относительная овальность в любом поперечном сечении не должна превышать 1%, угловатость кромок в районе продольных сварных швах не должен превышать $f = 0,1s + 3$ мм, но не более 5 мм по отношению к проектному профилю, смещение кромок не должно превышать $b = 0,1s$, но не более 3 мм, для кольцевых стыков – не более 5мм.

Подготовку кромок под сварку выполняют механической обработкой, допускается эту операцию выполнять путем термической резки или строжки (кислородной, воздушно-дуговой, плазменно-дуговой) с последующей механической обработкой (резцом, фрезой, абразивным инструментом). Требуемая глубина механической обработки после термической резки (строжки) зависит от восприимчивости конкретной марки стали к термическому циклу резки (строжки) и указывается в нормативной документации.

Кромки деталей, подлежащие сварке, и прилегающие к ним участки должны быть очищены от окалины, краски, масла и других загрязнений. Обечайки вальцуют из одиночного листа, а при большом диаметре из двух листовых заготовок, сваренных поперечными швами. Нормативные документы не допускают более двух продольных швов на каждой обечайке. Современные гибочные вальцы с микропроцессорным управлением позволяют осуществлять гибку с точно заданной кривизной заготовки по всему периметру без предварительной подгибки кромок, что позволяет обеспечить требуемую точность. Однако многие предприятия до сих пор имеют в своем распоряжении трехвалковые вальцы старого образца. Для предотвращения угловатости кромок в данном случае рекомендуется следующий технологический прием (рис. 7.10). На начальном и заключительном этапах гибки лист изгибают на большую, чем требуется величину так, чтобы в районе стыка обе кромки располагались в одной плоскости. Это позволяет при сварке обеспечить плотное прилегание свариваемых



Оборудование и технологии сварочного производства

кромки к подкладке, что повышает качество сварки, но искажает форму обечайки в месте расположения сварного шва. Для получения правильной цилиндрической формы после сварки производят калибровку обечайки на тех же вальцах.

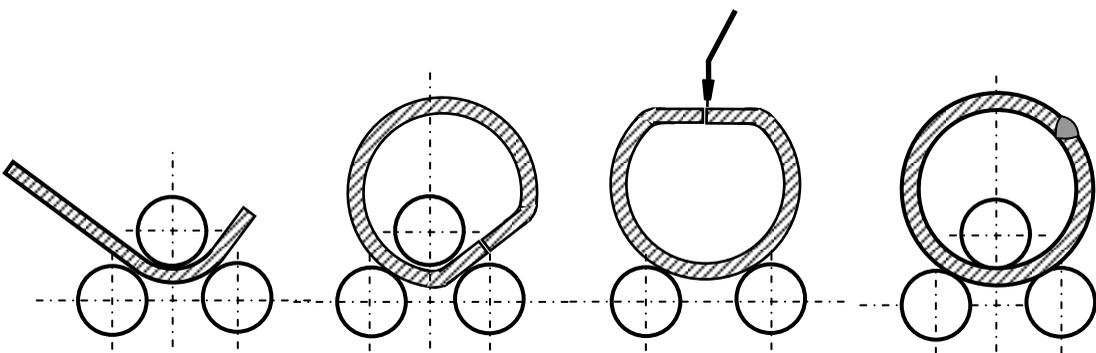


Рис. 7.10. Последовательность операций гибки и сварки обечаек при использовании трехвалковых вальцов

Сосуды со стенками средней толщины из низкоуглеродистых и низколегированных сталей изготавливают преимущественно с помощью автоматической сварки под флюсом. Продольный стык обечайки собирают на прихватках с помощью простейших стяжных приспособлений и устанавливают на роликовый стенд. Для формирования корня шва применяют флюсовую подушку. При диаметре сосуда более 600...1000 мм появляется возможность выполнять сварку изнутри сосуда. В этом случае рекомендуется применять двухстороннюю разделку кромок, позволяющую уменьшить требуемый объем наплавленного металла. Исходя из удобства установи обечайки на флюсовой подушке, первым выполняют шов изнутри. Обечайку, установленную на роликовом стенде (рис. 7.11), поворачивают свариваемыми кромками вниз и под обечайку подводят флюсовую подушку, представляющую собой желоб из гибкого материала и устройства поджатия флюса в виде пневмошлангового прижима. При подаче сжатого воздуха в пневмошланг он изменяет форму сечения и поджимает желоб с флюсом к стыку. Следует обратить внимание, что недостаточное усилие поджатия флюса приводит к ухудшению формирования шва. Для сварки изнутри используют сварочный трактор, перемещающийся по временным направляющим. Начинают и заканчи-



Оборудование и технологии сварочного производства

вают сварку шва на выводных планках, имеющих толщину и форму разделки кромок такую же, как обечайка.

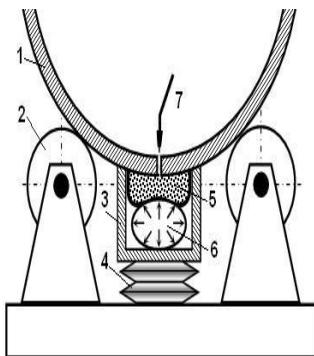


Рис. 7.11. Флюсовая подушка для сварки продольных швов обечайки.

- 1 – обечайка;
- 2 – роликовая опора;
- 3 – корпус флюсовой подушки;
- 4 – привод вертикального перемещения корпуса подушки;
- 5 – желоб с флюсом;
- 6 – пневмошланговый прижим;
- 7 – сварочный автомат.

После сварки изнутри обечайку кантуют на 180° и сваривают шов с наружной стороны. Для сварки используют подвешенный сварочный автомат, закрепленный на тележке порталного или глагольного типа. Реже используют автомат, перемещающийся вдоль консоли сварочной колоны или с помощью консоли. Для сварки шва с наружной стороны флюсовая подушка не требуется.

Сборка и сварка кольцевых стыков между обечайками, а также обечайками и днищами является более трудоемкой операцией.

Продольные швы смежных обечаек и швы днищ сосудов рекомендуется смещать относительно друг друга на величину трехкратной толщины наиболее толстого элемента, но не менее чем на 100 мм между осями швов.

Для механизации сборки кольцевых стыков роликовый стенд можно оборудовать сборочной скобой на тележке (рис. 7.12).

Тележка передвигается вдоль стенда по рельсовому пути. Настройка скобы в вертикальной плоскости осуществляется тягой. При сборке стыка, обечайки устанавливают на роликовый стенд, затем продвигают скобу 1 вдоль обечаек так, чтобы опора 12 первого гидроцилиндра 11 располагалась под первой обечайкой, а вторая 13 – в плоскости собираемого стыка. Включением цилиндра 11 закрепляют первую обечайку. После того, как торцевой цилиндр 2, придвигая вторую обечайку к первой, установит требуемый зазор в стыке, включением гидроцилиндра 10 выравнивают кромки, закрепляют стыкуемые обечайки и закрепляют стык прихватками.

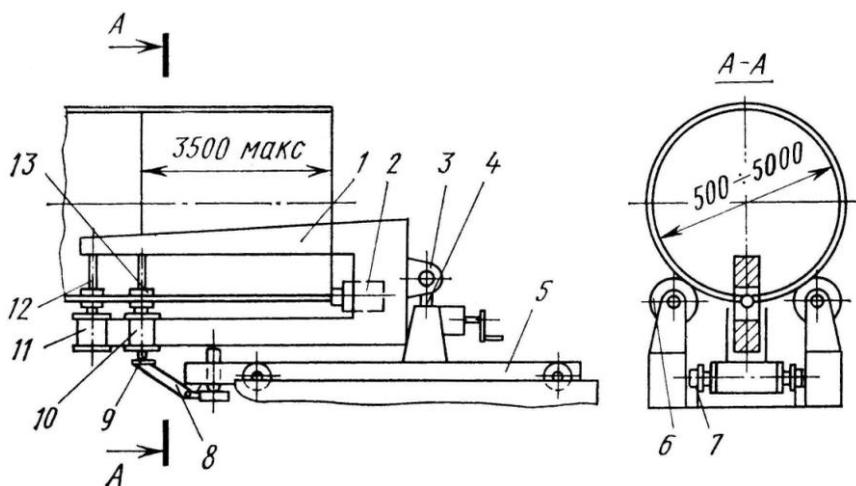


Рис. 7.12. Скоба для сборки кольцевых стыков обечаек:

- 1 – сборочная скоба; 2, 10, 11 – пневмоцилиндры; 3 – кронштейн;
 4 – опора; 5 – тележка; 6 – роликовая опора; 7 – рельсовый путь;
 8, 9 – элементы пневмопривода; 12, 13 – регулируемые упоры.

Затем выключают гидроцилиндры, отводят прижимы, обечайки поворачивают на требуемый угол и в такой же последовательности включают гидроцилиндры, собирают стык для закрепления обечаек на следующем участке. Прихватки должны иметь высоту не более $2/3$ толщины стенки сосуда, длиной $5 \dots 10$ толщин с шагом $50 \dots 100$ толщин, но не более 500 мм.

Перед началом сварки должно быть проверено качество сборки соединяемых элементов, а также состояние стыкуемых кромок и прилегающих к ним поверхностей. При сборке не допускается подгонка кромок ударным способом или местным нагревом.

Сварку кольцевых стыков сосудов со средней толщиной стенки выполняется, как правило, с двух сторон. Выполнение первого слоя на весу, требует тщательной сборки и ограничения размера зазора по всей длине шва. Поэтому роликовые стенды обычно оборудуют флюсовыми подушками (рис. 7.13), позволяющими производить сварку первого слоя шва без жесткого ограничения зазора в стыке.

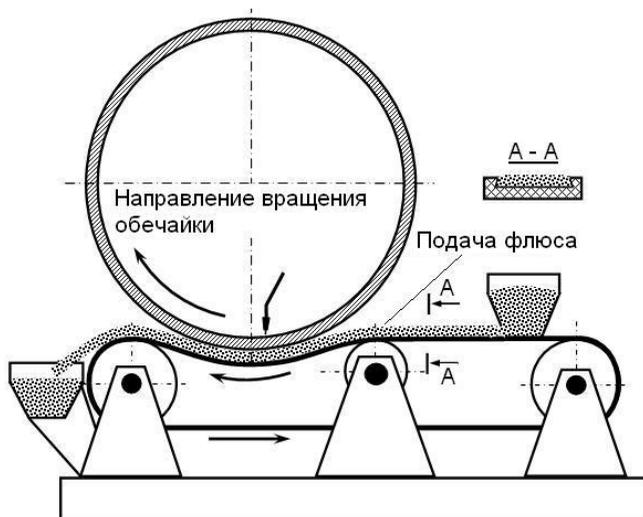


Рис. 7.13. Флюсоремненная подушка для сварки кольцевых швов.

Поджатие флюса при сварке кольцевых швов может осуществляться с помощью подушки ременного типа. Движение ремня и подача флюса к месту горения дуги происходит вследствие сил трения. Флюс из бункера насыпается на верхнюю ветвь ремня, натянутого между двумя свободно вращающимися относительно своих осей роликов, и плотно контактирует с поверхностью обечаек в нижней части стыка. При вращении обечаек, ремень перемещается за счет сил трения, а флюс поступает под обечайку, прижимаясь к стыку.

Первый слой выполняют изнутри обечайки, а второй - сваривают с наружной. При толщине стенки сосуда более 12 мм сварку под слоем флюса обычно выполняют за несколько проходов. Если ось обечайки, по каким либо причинам имеет наклон, то при вращении она может самопроизвольно перемещаться в осевом направлении, вследствие чего в процессе сварки стык будет смещаться от первоначально установленного положения электрода. При большом количестве оборотов смещение стыка от проектного положения может привести к появлению дефектов в шве типа непроваров и несплавления кромок. Для предотвращения осевого перемещения (тренда) роликовый стенд преднамеренно устанавливают с наклоном к горизонтальной плоскости, а торец обечайки упирают в вертикально расположенный роликовый упор, препятствующий осевому смещению обечайки.

При сварке кольцевого стыка возникает проблема токоподвода к обечайке. Не рекомендуется подвод тока осуществлять



Оборудование и технологии сварочного производства

через один из опорных роликов, т.к. стабильность подвода тока по такой схеме низкая, следствием чего может быть низкое качество сварки. Более правильно токоподводящий кабель прикреплять к корпусу обечайки струбциной. Для предотвращения наворачивания кабеля на обечайку струбцина и кабель должны иметь вращающийся контакт типа ось – втулка.

Днища изготавливают путем гибки под прессом из одного листа, чаще из круглой заготовки, сваренной из нескольких листов. При этом расположение швов должно соответствовать рекомендациям рис. 7.1. Допускается собирать и сваривать днища из отдельных штампованных лепестков.

При организации производства сосудов следует иметь в виду, что диаметры днищ стандартизованы. Часто предприятия, изготавливающие сосуды, получают готовые днища.

После штамповки торцы днища обрезают под требуемую по технологии форму кромок, после чего подают на сборку с цилиндрической частью. Сборку осуществляют по предварительно приваренным фиксирующим планкам, равномерно расположенным по контуру в торцевой части к корпусу сосуда (рис. 7.14). Вертикальное расположение корпуса сосуда облегчает сборку. После закрепления днища и цилиндрической части прихваточными швами планки удаляют и производят сварку сначала внутреннего шва, а затем - наружного. Технология сварки практически не отличается от сварки кольцевых стыков обечаек.

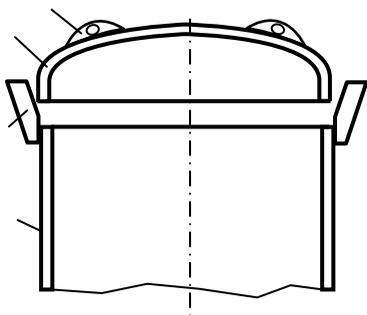


Рис. 7.14. Сборка днища с корпусом сосуда.

- 1 – корпус сосуда;
- 2 – направляющие планки;
- 3 – днище;
- 4 – петли для транспортировки днища

При выполнении сварки в замкнутом пространстве необходимо во внутреннюю полость сосуда подавать сжатый воздух. Сварочные работы в замкнутом пространстве должны выполнять не менее двух рабочих: один сварщик находится в нутрии сосуда и выполняет сварку, другой рабочий находится с наружной стороны и осуществляет наблюдение за ходом выполнения работ с целью обеспечения безопасных условий работы.



Оборудование и технологии сварочного производства

Если выполнить процесс сварки с двух сторон невозможно, то сварку по согласованию с проектной организацией допускается выполнять только с наружной стороны на остающейся подкладке.

После сварки все элементы, используемые для временного крепления, должны быть удалены, а места их присоединения зачищены абразивным инструментом. Приварка временных креплений и удаление их после сварки основного изделия должны производиться по технологии, исключающей образование трещин и закалочных зон в металле изделия.

7.4. Изготовление толстостенных сосудов

Крупногабаритные сосуды котельных и других установок при толщине стенок до 90÷120 мм изготавливают обычно из вальцованных или штампованных из листа обечаек, сваренных между собой продольными и поперечными (кольцевыми) швами. Для котельных сосудов, типа барабанов, характерно большое количество штуцеров, необходимых по условию обеспечения процессов циркуляции воды и сепарации пара.

Так же, как при изготовлении сосудов из металла средней толщины в данном случае необходимо решать проблему рационального раскроя металла заготовок и размещения сварных швов на корпусе. При этом необходимо принимать во внимание, что наиболее производительной и экономичной является электрошлаковая сварка. Этот способ можно применять как для продольных, так и для кольцевых стыков обечаек, но технология сварки кольцевых швов значительно сложнее, чем продольных и по сравнению с дуговой сваркой под флюсом или в защитных газах в экономическом плане проигрывает при толщинах до 90÷120 мм.

Поэтому, при изготовлении толстостенных сосудов для сварки продольных швов применяют электрошлаковую сварку, а для кольцевых – дуговую. Учитывая экономические преимущества электрошлаковой сварки, раскрой металла для сосуда рекомендуется выполнять так, чтобы максимально сократить количество (протяженность) кольцевых стыков.

С этой целью листовую заготовку изгибают вдоль продольной оси и получают полуцилиндр. При таком раскрое для получения обечайки требуется выполнить два продольных стыка, но при этом сокращается число кольцевых стыков при изготовлении сосуда, что, в целом, дает экономию (рис. 7.15).

Основным недостатком электрошлаковой сварки является относительно низкая пластичность металла шва, вследствие чего,



Оборудование и технологии сварочного производства

возрастает риск хрупкого разрушения сосуда в период его эксплуатации. Поэтому, необходимо предусматривать дополнительные технологические мероприятия для повышения характеристик пластичности сварного соединения при изготовлении сосудов.

Для особо ответственных сосудов, таких как корпуса атомных реакторов, с толщиной стенки от 200...450 мм используют цельнокованные обечайки без продольных швов, которые сваривают между собой кольцевыми швами.

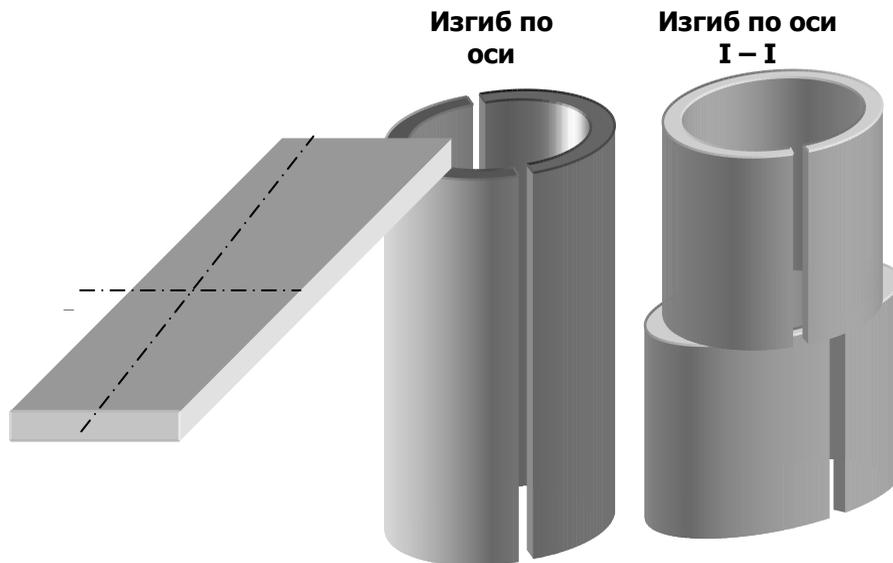


Рис. 7.15. Схемы раскроя листовых заготовок для толсто-стенных сосудов.

Рассмотрим особенности технологии изготовления толсто-стенных сосудов с применением электрошлаковой сварки.

Заготовки в виде двух полуцилиндров получают путем гибки под прессом. Лист после обрезки по контуру в требуемый размер нагревают до 1000 - 1050 °С и изгибают относительно оси I – I (рис. 7.15).

Обечайки закрепляют между собой с помощью скоб, располагающихся изнутри (рис. 7.16), с шагом 500 – 800 мм.

В районе расположения шва поверхности свариваемых полуцилиндров должна быть зачищена от заусенцев и окалины для свободного перемещения формирующих шов устройства.



Оборудование и технологии сварочного производства

В зависимости от марки стали, способа ЭШС, ее режима и способов фиксации деталей угол раскрытия зазора между деталями по длине должен составлять $1-2^\circ$ с тем, чтобы компенсировать возрастающую к концу шва поперечную усадку металла шва.

В начале шва приваривают карман в виде скобы для того, чтобы начало шва, где из-за неустановившегося процесса электрошлаковой сварки, вывести за пределы основного сварного соединения. В конце шва приваривают выходные планки. В зазор между ними выводят шлаковую ванну при завершении процесса сварки.

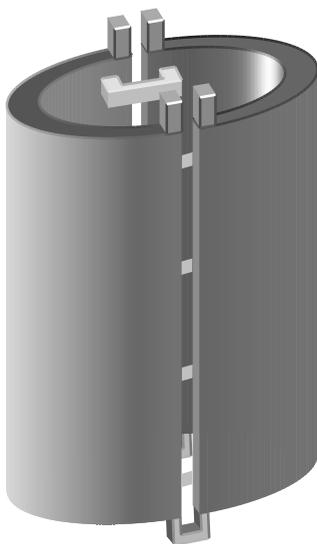


Рис. 7.16. Сборка деталей толстостенного сосуда для электрошлаковой сварки продольного шва

После сварки начальный и конечный участки шва вместе с карманом и выводными планками, а также скобы удаляют газовой резкой с последующей абразивной зачисткой мест крепления.

Оба продольных шва целесообразно выполнять одновременно двумя сварочными аппаратами.

Обечайки с одним продольным швом (рис. 7.15) получают гибкой на вальцах. Лист после обрезки нагревают до $1000 - 1050^\circ\text{C}$ и вальцуют до замыкания стыка, оставляя недовальцованными плоские участки шириной $100 \div 150$ мм. После остывания обечайки, стык закрепляют скобами, и термической резкой вырезают зазор под электрошлаковую сварку. Далее процесс сварки выпол-



няют аналогично изложенному выше.

Соединения, выполненные электрошлаковой сваркой должны пройти термическую обработку для улучшения структуры шва, повышения пластичности и снижения уровня остаточных напряжений. Обычно эту операцию совмещают с операцией калибровки обечайки.

При сварке гнутых под прессом полуцилиндров, обечайка получается достаточно правильной формы, и последующая калибровка необязательна, в то время как обечайки, полученные вальцовкой, требуют, как правило, правки. Калибровку производят после нагрева до температуры 1000 ± 1050 °С. Охлаждение обечайки на воздухе в процессе калибровки соответствует режиму нормализации. После охлаждения ниже 700 °С обечайку помещают в печь для более медленного охлаждения, соответствующего режиму высокотемпературного отпуска, для предотвращения появления остаточных напряжений из-за неравномерного охлаждения стенки по толщине.

При термической обработке корпус сосуда устанавливают так, чтобы исключить возможность его деформирования под действием собственной массы. Перепад температур по толщине стенки при нагреве и охлаждении не должен превышать 50 °С.

Окончательный контроль качества сварных соединений сосудов, подвергающихся термической обработке, должен проводиться после термической обработки.

Кольцевые швы выполняют многослойными, сваркой под флюсом. Полное проплавление при многослойной сварке обеспечивают укладкой в разделку нескольких подварочных слоев с внешней стороны (рис. 7.17), зачисткой корня шва и последующего наложения внутреннего подварочного шва. После этого производят многослойное заполнение разделки с внешней стороны.

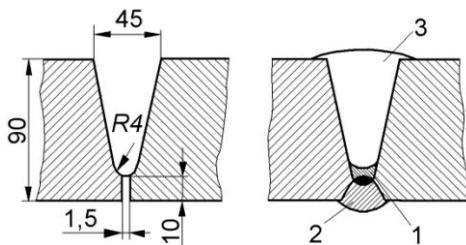


Рис. 7.17. Последовательность заполнения разделки кольцевых стыков: 1 – корневой слой; 2 – подварочный слой; 3 – заполняющий слой.



Уменьшение угла разделки кромок позволяет значительно сократить объем наплавленного металла и повысить экономическую эффективность процесса сварки. Поэтому, все большее количество предприятий осваивают технологию сварки соединений с щелевой или узкой разделкой. Следует иметь в виду, использование такой технологии для кольцевых стыков требует решения проблемы точного слежения за положением стыка в процессе сварки. При сварке металла большой толщины необходимое количество слоев наплавленного металла (проходов) может достигать до двух сотен. Столько же оборотов должна совершить обечайка. В этих условиях даже незначительное отклонение положения роликов вращателя от проектного может привести к тому, что в процессе вращения обечайка будет перемещаться по спирали и уводить стык от заданной положением электрода плоскости (рис.7.18).



Рис. 7.18. Сварка стыка обечайки с узкой ($1^\circ \dots 2^\circ$) разделкой

Для того, чтобы исключить смещение электрода от центра стыка современные установки для сварки в узкую разделку имеют следящие системы, корректирующие положение электрода. Они представляют собой датчик в виде щупа, располагающегося впереди электрода. При смещении кромка стыка перемещает щуп, который подает сигнал на корректировку положения электрода с помощью каретки сварочного автомата. Однако, следящая система рассчитана на случайные перемещения стыка и не может обрабатывать большие по величине систематические осевые перемещения обечайки (дрейф).



Оборудование и технологии сварочного производства

Прием устранения дрейфа, рассмотренный выше, когда обечайка своим торцом упирается в ролик, ограничивающий ее смещение, в данном случае неприменим, т.к. большой вес толстостенных обечаек приводит к тому, что упорный ролик вызывает чрезмерные пластические деформации торца обечайки.

Для толстостенных обечаек рекомендуется использовать систему «антидрейф» (рис. 7.19).

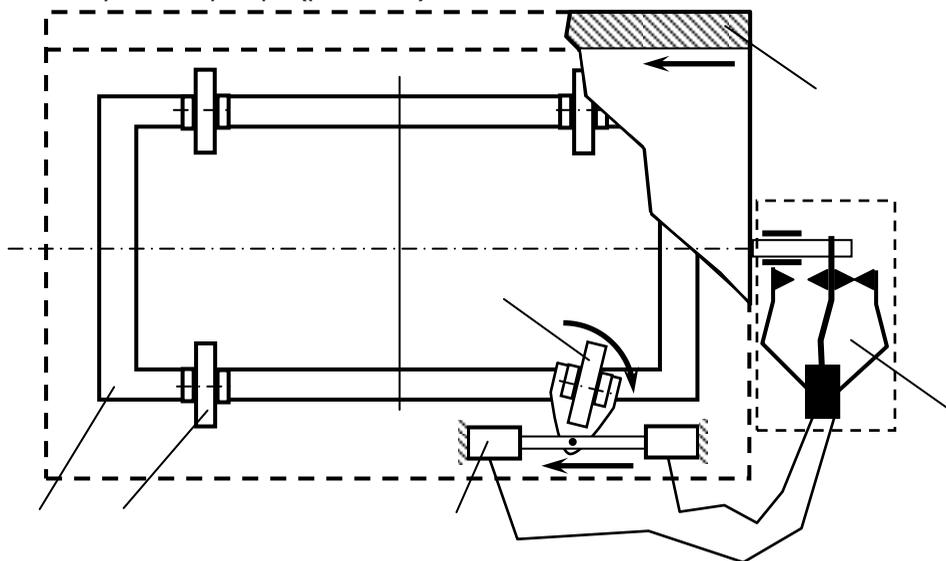


Рис.7.19. Система «антидрейф»

1 – рама вращателя; 2 – опорные ролики; 3 – управляющий ролик; 4 – сервопривод; 5 – датчик положения торца обечайки; 6 – обечайка.

Система антидрейф имеет датчик 5, который осуществляет слежение за положением торца свариваемой обечайки и подает сигнал на сервопривод. При смещении торца обечайки в какую либо сторону включается сервопривод, который осуществляет поворот приводного ролика относительно вертикальной оси. При этом плоскость вращения ролика располагается под углом к оси обечайки. В результате этого обечайка, помимо вращения, приобретает поступательное движение в противоположном по отношению к первоначальному смещению направлению. Положение стыка по отношению к электроду восстанавливается. Система антидрейф не заменяет датчик слежения за стыком, расположенный на сварочном автомате, но при большом числе проходов оказывается не заменимой, поскольку позволяет корректировать



смещение стыка в значительно большем диапазоне смещения.

С увеличением толщины стенки обечайки экономические преимущества электрошлаковой сварки перед дуговой сваркой под флюсом возрастают. В результате этого в некоторых случаях применение ЭШС становится экономически оправданным для сварки кольцевых стыков.

Сборка кольцевого стыка под электрошлаковую сварку должна быть достаточно точной. Местное смещение криволинейных кромок более 3 мм может привести к нарушению уплотнения между формирующей подкладкой или ползуном и стенкой обечайки, что может привести к вытеканию шлаковой ванны. Поэтому перед сборкой обычно внешнюю и внутреннюю поверхности каждой из обечаек протачивают на ширину 70 ± 100 мм от торца (рис. 7.20).

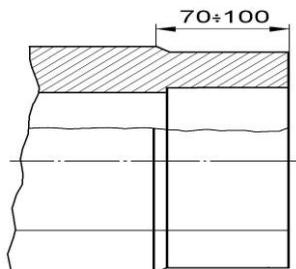


Рис. 7.20. Технологические проточки в обечайках под электрошлаковую сварку.

Так же осуществляют подготовку стыка обечайки с днищем. Собирают стык с помощью планок, которые устанавливают "на ребро" поперек кольцевого стыка и приваривают к поверхности обечаек (рис. 7.21).

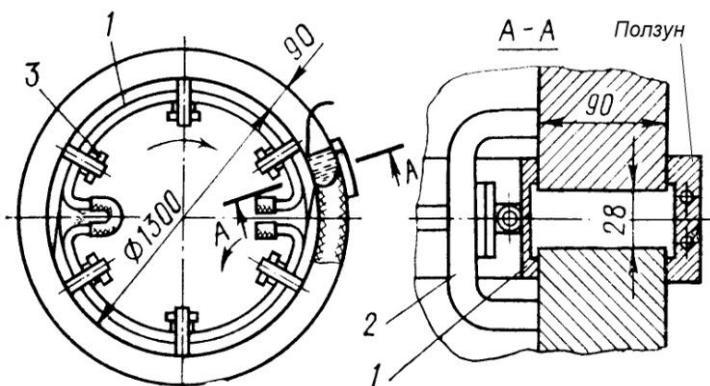


Рис. 7.21. Схема закрепления подкладок при сборке стыка:



Оборудование и технологии сварочного производства

1 – прокладка; 2 – скоба; 3 – винтовой прижим.

Если в качестве внутреннего формирующего устройства используют медные охлаждаемые подкладки, изогнутые по радиусу свариваемого изделия, то внутри обечайки дополнительно устанавливают скобы временного крепления. Подкладки заводят в отверстия скоб и закрепляют клиньями либо винтовыми прижимами.

Электрошлаковую сварку кольцевого шва начинают на вспомогательной пластине, сваренной в зазор стыка (рис. 7.21 а). После заварки примерно половины окружности стыка (рис. 7.21 б), сварщик резаком удаляет из зазора начало шва до полного устранения непровара и придает торцу шва наклонный срез, облегчающий выполнение замыкания шва (рис. 7.21 в). Усадочную раковину либо выводят в специальный прилив в наружном ползуне, либо выплавляют и заваривают вручную.

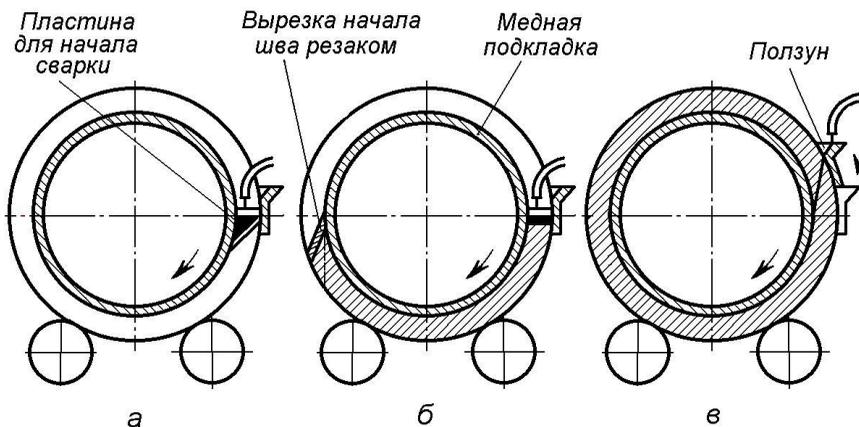


Рис. 7.21. Последовательность операций при электрошлаковой сварке кольцевого стыка.

Днища изготавливают штамповкой под прессом круглой заготовки, предварительно вырезанной из целого листа, если позволяют размеры, либо штамповкой сваренной из нескольких листов карты и последующей механической обработки торцов.

Изготовление толстостенных сосудов связано с большой энергоемкостью процесса, обусловленной необходимостью нагрева металла для выполнения операций гибки и термической обработки после сварки.



Оборудование и технологии сварочного производства

В качестве альтернативы следует рассмотреть технологию изготовления толстостенных обечаек из металла малой толщины путем намотки на основную обечайку толщиной 20÷40 мм нескольких слоев рулонной стали (рис. 7.22).

Навивку спиральных слоев на обечайку и укладку кожуха выполняют на специальной трехвалковой установке. Начальную клиновую вставку и конец полосы приваривают к центральной обечайке. Для навивки слоев используют рулонную сталь толщиной 4 - 8 мм шириной 1500÷1700 мм. Для того чтобы обеспечить равномерное распределение напряжений между отдельными слоями, необходимо слоем осуществлять без зазора. С этой целью в процессе навивки необходимо создавать натяжение полосы. После навивки заданного числа витков устанавливают замыкающую клиновую вставку и кожух, состоящий из одной или двух частей. Заготовки кожуха вырезают из листовой стали толщиной не менее двух толщин основных слоев. Многослойные рулонированные обечайки характеризуются высоким (более 0,8) коэффициентом использования металла, относительно низкой трудоемкостью и сравнительно высоким сопротивлением хрупкому разрушению, поскольку тонколистовой металл обладает значительно большим сопротивлением хрупкому разрушению по сравнению с толстолистовым. Кроме того, в случае возникновения разрушения в одном из слоев трещина не переходит в другой, что исключает катастрофические последствия.

Наряду с очевидными преимуществами такой технологии она имеет ряд недостатков.

Сварка кольцевых стыков сосуда представляет определенные технологические трудности, поскольку при нагреве многослойной стенки в процессе сварки возможно коробление отдельных слоев стенки, что приводит к нарушению теплоотвода и прожогам отдельных слоев, к затеканию металла между слоями, выделению газов из межслойного пространства в шов.

Межслойные зазоры могут привести при сварке к образованию подрезов, шлаковых включений, "усов" (продолжение зазоров в металле шва, примыкающего к зазорам). Недостаточная жесткость многослойной стенки приводит к увеличению деформаций в области сварного шва. Для предупреждения образования дефектов и уменьшения деформаций, торцы многослойных обечаек предварительно наплавляют (рис.7.22). Перед наплавкой внутри многослойных обечаек устанавливают кольца жесткости вблизи наплавляемого торца. Толщина наплавленного слоя после механической обработки должна быть не менее 8 мм для обечаек



Оборудование и технологии сварочного производства

с внутренним диаметром до 1400 мм, и не менее 10 мм для обечайек с внутренним диаметром более 1400 мм. При этом рекомендуется широкополосная наплавка с поперечными колебаниями электрода. Для выхода газов из межслойных зазоров во время наплавки, в рулонированной обечайке сверлят дренажные отверстия диаметром $8 \div 10$ мм, глубиной до первого слоя навивки на расстоянии $50 \div 130$ мм от наплавляемого торца. Число отверстий (4÷8) зависит от диаметра обечайки.

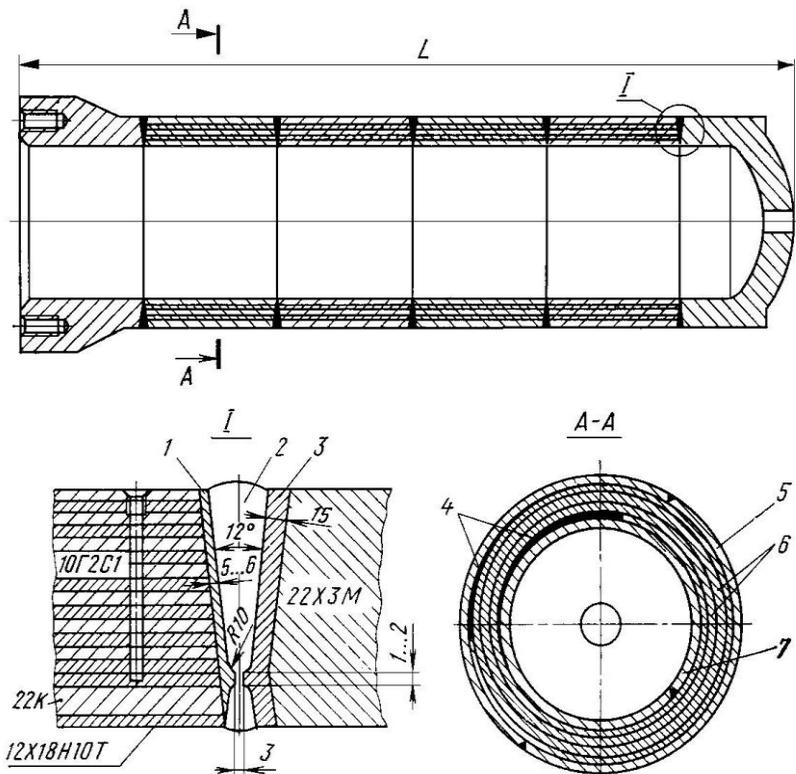


Рис.7.22. Конструкция многослойного сосуда высокого давления:

- 1, 3 – наплавка на кромку; 2 – многослойный кольцевой шов;
- 4 – клиновидные вставки; 5 – облицовочная обечайка;
- 6 – спиральные слои; 7 – центральная обечайка.

Подготовленные таким образом торцы рулонированных обечайек и концевых элементов сваривают между собой кольцевыми швами автоматической сваркой под слоем флюса. Прихватку, наплавку и сварку элементов и деталей из сталей



Оборудование и технологии сварочного производства

12ХГНМ, 15ХГНМФТ производят с общим или местным предварительным и сопутствующим подогревом до температуры не ниже 150 °С, деталей из сталей 20Х2МА и 22Х3М- с подогревом до температуры не ниже 250 °С, независимо от толщины стенок.

При местном подогреве ширина зоны нагрева не должна быть менее 100 мм в каждую сторону от кромок разделки.

Технологические проблемы обеспечения герметичности сварного соединения возникают в тех случаях, когда к многослойному корпусу сосуда необходимо приварить патрубок или штуцер. Обычные технологии сварки здесь не подходят. Перед тем, как приварить штуцер необходимо на внутреннюю поверхность отверстия в многослойном корпусе произвести наплавку слоя металла, с тем, чтобы получить монолитную поверхность по такой же технологии, которая применялась при сварке кольцевых стыков. Для этих целей применяют ручную дуговую сварку с поперечными колебаниями электрода или автоматическую под слоем флюса с обеспечением толщины наплавки после механической обработки не менее 8 мм. Валики, как при автоматической, так и при ручной сварке наплавливают перпендикулярно слоям за один проход на всю толщину стенки. Очевидно, что ограниченные возможности манипулирования электродами не позволяют выполнить качественную наплавку поверхности малого по диаметру отверстия. Для обеспечения свободы манипулирования необходимо, чтобы диаметр отверстия превышал толщину стенки. Если в конструкции предусмотрены штуцеры меньшего размера, то части сосуда, на которых располагаются штуцеры и патрубки малого диаметра, изготавливают в виде монолитных обечаек, что полностью решает проблемы сварки. Монолитными, так же, изготавливают днища.

Внутренняя поверхность сосудов, работающих в энергетическом оборудовании или оборудовании химических производств, может контактировать с агрессивными средами. При их изготовлении возникает необходимость нанесения защитных покрытий из стойкого к агрессивной среде материала. При изготовлении монолитных сосудов либо используют двухслойный (плакированный) лист или после изготовления обечайки производят наплавку внутренней поверхности обычно автоматической сваркой под флюсом.

Технология изготовления толстостенных сосудов из тонколистового металла путем навивки упрощает изготовление стенки из разнородных материалов, поскольку внутренняя обечайка может быть практически изготовлена из любого конструкционно-



го материала. Некоторые технологические проблемы появляются при выполнении сварного соединения между внутренней обечайкой и листом, который навивают. Проблемы могут быть решены, если применять переходные вставки, полученные сваркой в твердой фазе, например, сваркой взрывом или диффузионной сваркой.

7.5. Особенности изготовления теплообменных аппаратов

Цилиндрические сосуды часто используются в качестве теплообменных аппаратов, предназначенных для передачи тепла от одного теплоносителя к другому. Для разделения потоков теплоносителя и увеличения площади поверхности нагрева внутри сосуда располагают набор труб (трубные пучки), а сам сосуд разделяют герметичной перегородкой (трубной доской) на две или несколько секций, камер. Таким образом, при изготовлении таких аппаратов приходится решать дополнительные технологические задачи.

В качестве примера рассмотрим технологические особенности изготовления подогревателя высокого давления (ПВД) типа ПВД-К2Г-1100-24-4,5ТЗ, изготавливаемого ОАО ТКЗ «Красный котельщик» (рис. 7.23).

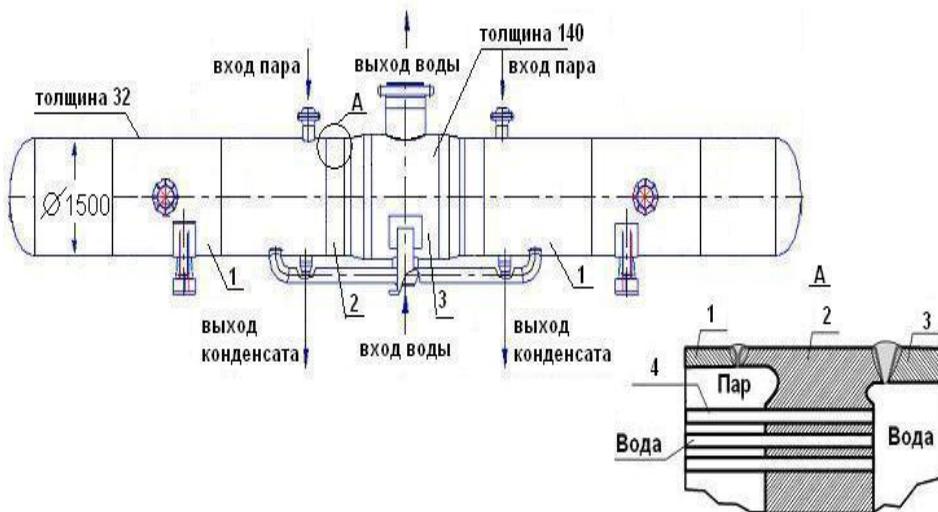


Рис. 7.23. Подогреватель высокого давления:

- 1 – корпус камеры низкого давления; 2- трубная доска;
- 3 – корпус камеры высокого давления; 4 – трубный пучок.

Подогреватели осуше- ствляють подогрев питательной



Оборудование и технологии сварочного производства

воды котлоагрегата теплоэлектростанции за счет охлаждения и конденсации пара, отбираемого из промежуточных ступеней турбины. Вода под давлением 24 МПа поступает в нижнюю секцию камеры высокого давления 3 и через трубы трубного пучка 4 проходят в верхнюю секцию камеры высокого давления. Пар от турбины под давлением 4,5 МПа поступает в корпус камеры низкого давления 1, и, конденсируясь на трубах трубного пучка 4, нагревают воду, поступающую в котел.

Все детали подогревателя, за исключением труб, изготавливают из низколегированных сталей из стали 09Г2С и 15ГС, а трубы – из аустенитной стали 08Х18Н10Т.

Необходимо обратить внимание на несколько особенностей этой сварной конструкции.

Во-первых, существенное различие величин давления рабочей среды в камерах низкого и высокого давления и наличие плоской крышки обуславливает различие толщин стенки отдельных частей конструкции. Во-вторых, необходимость увеличить площадь теплообмена приводит к появлению большого числа близко расположенных между собой сварных соединений труб с трубной решеткой. В-третьих, соединение между собой низколегированных сталей перлитного класса с высоколегированными сталями аустенитного класса всегда требуют от сварщиков повышенного внимания.

Технология изготовления подогревателя предполагает расчленение его на несколько блоков: левый полукорпус и правый, камера высокого давления и теплообменный блок.

Полукорпус представляющий собой цилиндрический сосуд, состоящий из трех обечаек и днища, штуцеров и патрубков. Его изготавливают по обычной для сосудов из металла средней толщины технологии. Листовые заготовки толщиной 32 мм из стали 09Г2С изгибают в холодном состоянии на вальцах, сваривают продольный шов автоматической сваркой под флюсом, производят калибровку обечаек, сборку их между собой и с днищем, затем сварку кольцевых стыков двухсторонними швами.

Камеру высокого давления изготавливают по типовой технологии для толстостенных сосудов. Листовую заготовку толщиной 140 мм из стали 09Г2С нагревают до 1000°C и изгибают на вальцах до смыкания кромок. Затем на строгальном станке производят обработку кромок для получения требуемой конфигурации разделки кромок и производят одностороннюю автоматическую сварку стыка под флюсом. Для получения правильной цилиндрической формы обечайку еще раз нагревают до 1000°C и калибру-



Оборудование и технологии сварочного производства

ют на вальцах. Затем приваривают перегородку внутри обечайки для разделения камеры на две секции и выполняют отверстия для варки штуцеров подводящих и отводящих воду.

Теплообменный блок состоит из трубного пучка, представляющего собой гнутые U – образные плети труб диаметром 16 мм, с толщиной стенки 2,0 мм, и трубной доски, в которой просверлено 1580 отверстий. Трубы вставляют в отверстия, срезают их торцы заподлицо с поверхностью трубной доски и обваривают по контуру. Для обеспечения плотного прилегания стенки труб перед сваркой производят гидравлическую раздачу их концов. С этой целью в каждую трубку устанавливают блок, состоящий из двух заглушек. Одна заглушка располагается на уровне нижней поверхности трубной доски, другая – на уровне верхней. В образовавшуюся между заглушками камеру закачивают жидкость под давлением, достаточным для пластического деформирования стенки трубы. Таким образом, стенка трубы трубного пучка увеличивается в диаметре и плотно прижимается к стенкам отверстия в трубной доске.

При сварке труб с трубной доской появляются две проблемы. Первая связана с необходимостью сварки разнородных материалов: перлитной стали 16ГС и аустенитной стали 08Х18Н10Т. Вторая – с необходимостью выполнения большого количества круговых швов (1580 шт.) на трубной доске.

В результате перемешивания сталей разных структурных классов – электродного, металла трубы и металла трубной доски металл шва будет обладать химической и структурной неоднородностями в зоне сплавления.

В зоне сплавления со стороны перлитной стали образуется обезуглероженная зона, а со стороны аустенитной стали легированной карбидообразующими элементами – прослойка науглероженного металла высокой твердости, содержащего большое количество карбидов, что объясняется интенсивной диффузией углерода.

Наличие таких прослоек в процессе длительной эксплуатации конструкции при высоких температурах может привести к хрупким разрушениям.

Для предотвращения образования хрупких прослоек рекомендуется при сварке использовать присадочные материалы с большим запасом аустениности, что предотвращает или существенно снижает образование мартенситной структуры в слоях, примыкающих к перлитной кромке.

Именно по этой причине, несмотря на малую толщину



Оборудование и технологии сварочного производства

стенки труб, применяют аргонодуговую сварку неплавящимся электродом с присадочной проволокой с соотношением $Ni/Cr > 1$, например, типа Св-10Х16Н25АМ6.

Режимы сварки необходимо выбирать так, чтобы обеспечить минимальное перемешивание металла трубной доски и присадочного металла, а также исключить перегрев сварного соединения, т.е. применять пониженные токи и повышенные скорости сварки.

Вторая проблема, связанная с высокой трудоемкостью сварки большого числа трубок, может быть решена только путем механизации процесса, но здесь имеются определенные сложности. Из-за большой длины теплообменного блока трубы с трубной доской целесообразно сваривать при горизонтальном расположении блока. Следовательно, сварку необходимо выполнять в разных пространственных положениях: от нижнего до потолочного. Это непростая задача для автоматических способов сварки, поскольку по мере перемещения электрода вдоль шва необходимо изменять параметры режима сварки.

Задачу помогают решить разработанные в последнее время автоматы для орбитальной сварки, например, автоматы фирмы Polysoude.

Общий вид автомата для орбитальной сварки фирмы Polysoude TS 2000 показан на рис. 7.24.





Рис. 7.24.Автомат для орбитальной сварки.

В зависимости от диаметра труб автоматы могут иметь некоторые конструктивные отличия, но принцип их работы одинаков. С помощью цангового устройства автомат фиксируют по отверстию в трубной доске. Сварочная головка, включающая неплавящийся электрод и мундштук, направляющий присадочную проволоку в зону сварки, вращается вокруг оси привариваемой трубки и производит сварку. Механизм вращения компактно расположен в корпусе автомата. Для сварки используется специализированный источник питания источником PS-254-2, в котором располагается электронный блок управления параметрами режима сварки, корректирующий режим в зависимости от положения электрода в пространстве. При большом диаметре крепление автомата осуществляется по той трубе, которую необходимо приварить к трубной доске, при малом диаметре – автомат фиксируют по соседнему отверстию, а сварочную головку центрируют по трубе, которую необходимо приварить.

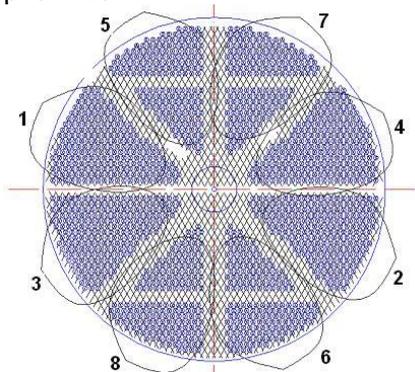
С целью обеспечения требуемой глубины проплавления, отсутствия прожогов и качественного формирования сварного шва во всех пространственных положениях применяется импульсно-дуговая сварка.

Большое количество сварных швов на плоской детали может привести к появлению деформаций изгиба трубной доски. Для уменьшения остаточных деформаций необходимо выбрать опре-



Оборудование и технологии сварочного производства

деленную последовательность выполнения сварных швов, обеспечивающих симметрию протекания сварочных деформаций. Рекомендуется поверхность трубной доски разбить на секторы и выполнять сварку труб чередуя секторы в соответствии со схемой рис. 7.25.



На следующем этапе изготавливают камеру низкого давления. Теплообменный блок, включающий трубную решетку, трубный пучок и каркас трубной системы устанавливают в вертикальное положение, а сверху при помощи мостового крана надевают ранее изготовленный корпус камеры низкого давления. В таком положении производят закрепление на прихватках, укладывают на роликовый вращатель и производят автоматическую сварку под слоем флюса на остающейся подкладке, поскольку корень шва оказывается недоступным для сварки изнутри.

Дальнейшее изготовление подогревателя предполагает сборку и сварку кольцевых стыков между камерами низкого давления и камерой высокого давления. Толщина стенки деталей в месте сварки составляет 140 мм (рис. 7.23.). В соответствии с действующими нормативными документами после сварки деталей из низколегированных сталей с толщиной стенки более 36мм требуется проведение термической обработки для улучшения структуры металла сварного соединения и снижения уровня остаточных напряжений. В противном случае при многопроходной сварке в корне сварного стыка возможно накопление остаточных сварочных деформаций и исчерпание запаса пластичности металла, результатом чего может явиться увеличение склонности металла корня шва к хрупкому разрушению.

К сожалению, в данном случае произвести термическую обработку всего подогревателя после сварки замыкающих швов



Оборудование и технологии сварочного производства

не представляется возможным. Во-первых, из-за недостаточной жесткости труб и других деталей камеры низкого давления. Во-вторых, из-за того, что в зоне соединения разнородных материалов (трубная доска – труба) вследствие большого различия коэффициентов термического расширения при термообработке возникают остаточные напряжения, способные привести к нарушению герметичности сварного соединения.

В подобных случаях используют технологию сварки, не требующую последующей термической обработки. Суть этой технологии состоит в следующем. Перед сваркой кольцевого стыка толстостенных деталей на их кромки наплавляют слой аустенитного металла. Поскольку в данном случае сопротивление усадки металла в направлении толщины наплавляемого слоя практически отсутствует, остаточные напряжения в этом направлении имеют минимальную величину. Аустенитный металл обладает большим запасом пластичности и большим сопротивлением хрупкому разрушению, следовательно, при сварке стыка с наплавленными кромками нет опасности образования трещин в корне многослойного шва.

На данном этапе изготовления подогревателя наплавка аустенитного металла на кромку трубной доски представляет определенные технологические трудности.

Из-за большой длины уже изготовленной камеры низкого давления установить наплавляемую поверхность в удобное горизонтальное положение достаточно сложно. Поэтому наплавку удобно производить на кромку трубной доски до приварки к ней трубного пучка (рис. 7.26.).

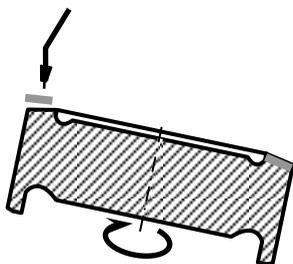


Рис. 7.26 . Наплавка аустенитного металла на кромку трубной доски с целью исключения термической обработки подогревателя после сварки замыкающих швов.

Для увеличения производительности наплавку ведут ленточным электродом под слоем флюса отдельными круговыми



Оборудование и технологии сварочного производства

швами с перекрытием швов. Трубную доску устанавливают на вращатель с наклоном, так, чтобы плоскость наплавки располагалась горизонтально. Необходимо предусмотреть мероприятия для удержания флюса на наплавляемой поверхности.

Для того чтобы исключить образование в зоне сплавления мартенситных структур наплавку выполняют в два слоя. Первый слой наплавляют с использованием присадочного материала с большим запасом аустенитности $Ni/Cr > 1$, второй – металлом, обеспечивающим получение наплавленного металла со структурой близкой к структуре стали типа X18H10.

Например, 1-й слой - наплавочная лента Св-10Х16Н25АМ6, 2-й слой: - наплавочная лента Св-04Х19Н11М3. Для обеспечения требуемой величины переходной зоны первый слой наплавляется в два прохода, а второй слой за пять проходов.

После наплавки слоя аустенитного металла на торец трубной доски производят сварку ее с трубами трубного пучка по технологии, изложенной выше.

Аналогичным образом производят наплавку на торцы камеры высокого давления.

После такой подготовки кромок сварку кольцевых стыков между камерами низкого давления и камерой высокого давления можно производить без последующей термической обработки, используя многопроходную автоматическую сварку под флюсом.

Рассмотренная технология сварки с предварительной наплавкой на кромки аустенитного материала применяется достаточно часто для толстостенных конструкций, когда по тем или иным причинам провести термическую обработку после сварки не представляется возможным, например, когда сварку выполняют в монтажных условиях.



8. ОСНОВЫ РОБОТИЗАЦИИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

8.1. Перспективы применения сварочных роботов

Благодаря тому, что промышленные роботы позволяют удачно совместить универсальность оборудования и возможность удовлетворить индивидуальные запросы производителя, роботизация сварочного производства, в настоящее время, является основным направлением автоматизации производства сварных конструкций. Микропроцессорная система управления движением исполнительного органа, параметрами режима сварки и вспомогательным оборудованием открывает практически неограниченные возможности автоматизации сварки и перемещения изделия любой сложности. Современные роботы имеют возможность осуществлять слежение за свариваемым стыком и корректировать движение электрода в процессе сварки. Конструкция сварочного робота и его технические возможности практически не имеет жесткой привязки к конструктивным особенностям свариваемого изделия. Это означает, что робот относится к универсальному оборудованию, благодаря чему появляется возможность наладить массовое производство сварочных роботов и, следовательно, снизить стоимость их производства.

Именно это определило высокие, более 5% в год темпы роботизации сварочного производства в промышленно развитых странах.

На рис.8.1 представлена оценка парка промышленных роботов в Европе.

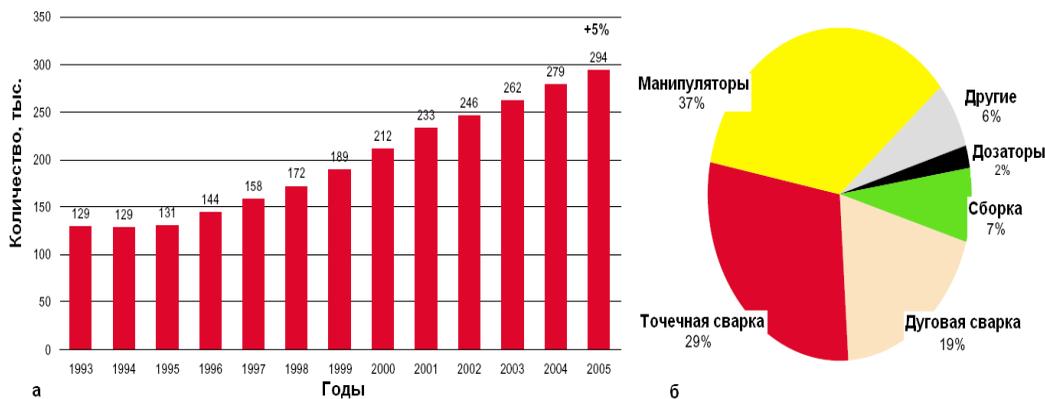


Рис. 8.1. Оценка парка промышленных роботов в Европе.



Оборудование и технологии сварочного производства

По оценкам специалистов в промышленно развитых странах в 2004 году находилось в эксплуатации более 800 тыс. промышленных роботов, в том числе, в Японии – 350 тыс., в Европейском Союзе – около 250 тыс., в Северной Америке – около 112 тыс. К 2007 году общая численность роботов может превысить один миллион (в Европе – 326 тыс., в Северной Америке – 145 тыс.). Этому способствует непрерывное снижение стоимости промышленных роботов и рост заработной платы рабочих (рис.8.2)²³.

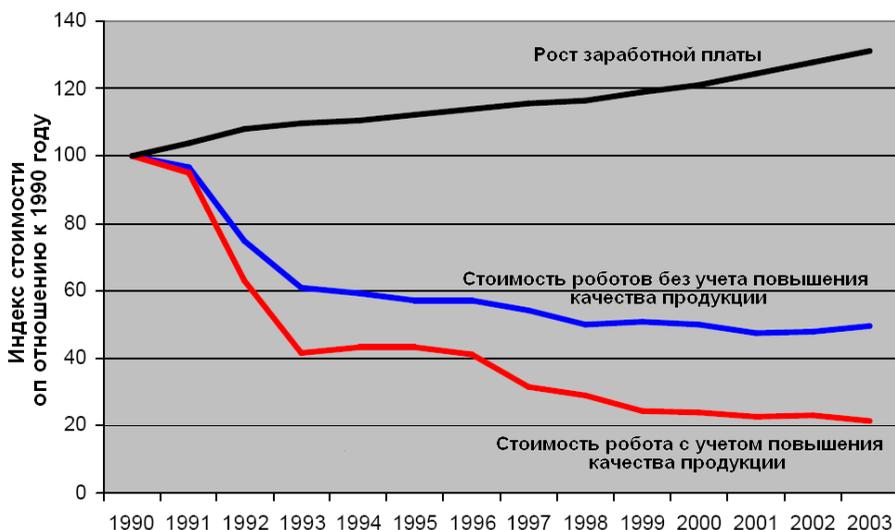


Рис. 8.2. Изменение стоимости роботов и оплаты труда рабочих в странах Западной Европы

К сожалению, Россия не входит в число стран с большим объёмом роботизации промышленности. Одной из причин этого является не только недостаточно развитое производство самих роботов, но и отсутствие опыта их применения в сварочном производстве. В последние годы в России заметно возрос интерес к проблеме роботизации сварочного производства, особенно в автомобилестроении, например на ВАЗе, ЗИЛе, ГАЗе. В начале 90-х годов проявлен значительный интерес к этой проблеме в области сельхозмашиностроения (ОАО «Ростсельмаш»).

Использование роботов не является самоцелью, оно должно обеспечивать повышение производительности труда с одно-

²³ United Nations Economic Commission for Europe, Press Release ECE/STAT/04/P02, Geneva, 20 October, 2004



Оборудование и технологии сварочного производства

временным сокращением издержек производства, несмотря на высокую стоимость оборудования. Решение этой задачи требует от инженеров-сварщиков знания специфики применения роботов, обоснованного выбора такого оборудования, рациональной его компоновки и эффективной эксплуатации. Сопоставление различных вариантов механизации сварочного производства в зависимости от объема выпуска продукции позволяет дать экономическое обоснование применению сварочных роботов (рис. 8.3).

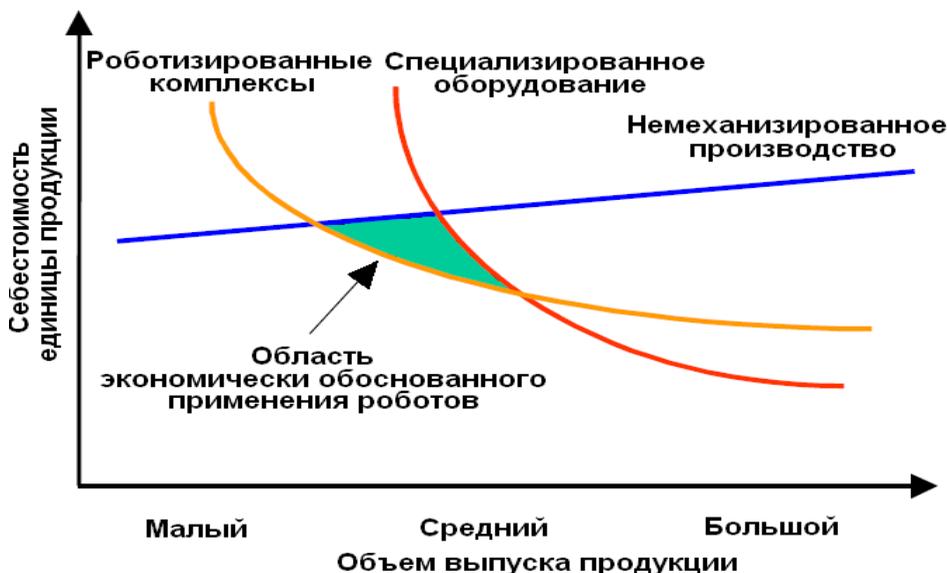


Рис.8.3. Область рационального применения сварочных роботов.

Очевидно, что расположение кривых на графике зависит от многих факторов, в том числе, от опыта инженера – сварщика.

Следует также иметь в виду, что применение промышленных роботов предполагает наличие на производстве высоко квалифицированных специалистов по наладке роботов. В связи с этим экономически нецелесообразно организовывать роботизированное сварочное производство, когда требуемое количество роботов менее трех – четырех.

8.2. Промышленные роботы, используемые в сварочном производстве

Технологические возможности промышленных роботов



Оборудование и технологии сварочного производства

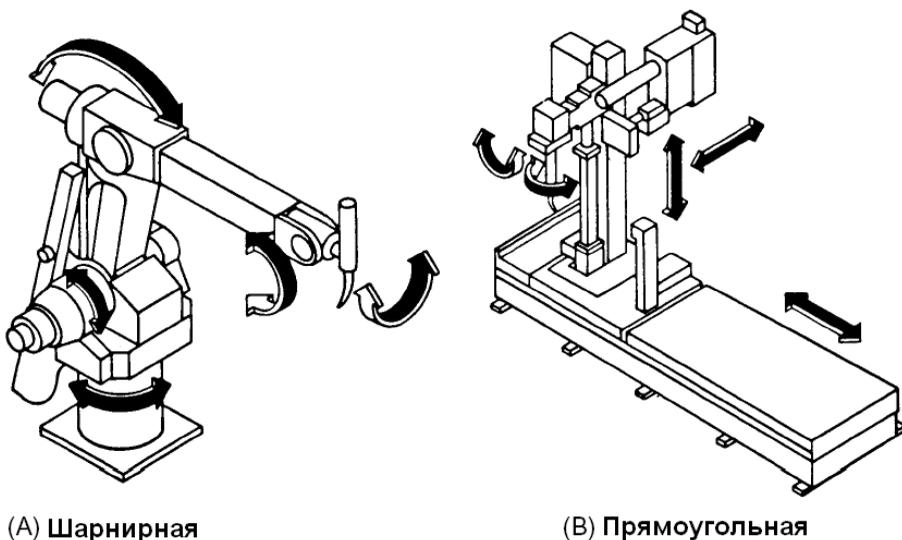
(ПР), применяемых в сварочном производстве, характеризуют следующие параметры:

- грузоподъёмность (суммарная грузоподъёмность его руки);
- число степеней подвижности (свободы) рабочего органа;
- кинематическая схема;
- точность позиционирования;
- форма и размеры рабочей зоны ПР – пространство, в котором может находиться рабочий орган, осуществляющий сварку;
- система координат, которая определяет кинематику основных движений и форму рабочей зоны;
- система управления ПР (цикловая или контурная).

Промышленные роботы имеют различные системы координат – прямоугольную, цилиндрическую, сферическую, шарнирную. Кинематические схемы большинства промышленных роботов предусматривают дополнительные степени подвижности, обеспечивающие ориентацию инструмента относительно изделия.

На рис. 8.4 показаны наиболее распространенные в сварочных роботах шарнирная и прямоугольная кинематические схемы координат. Шарнирная схема координат позволяет обеспечивать скорость движения рабочего инструмента в диапазоне как медленных (рабочих скоростей – 1 мм/с), так и высоких (транспортных скоростей – 1000 мм/с) перемещений.

В промышленных роботах применяют пневматический, гидравлический и электрический приводы. В сварочных роботах, как правило, используют электропривод, так как он обеспечивает высокое быстродействие и точность.



(А) Шарнирная

(В) Прямоугольная

Рис.8.4. Системы координат, используемые в сварочных роботах.

Системы управления роботов, несущих инструмент, могут быть цикловые, позиционные и контурные. Наиболее простая цикловая система управления предназначена для выдачи ряда команд в определённой последовательности, но без регламентации перемещения по каждой из осей. Роботы с цикловым управлением применяют, в основном, при сборке деталей, при погрузочно-разгрузочных, транспортных работах.

Позиционная система управления задаёт не только последовательность команд, но и положение всех звеньев промышленного робота, её используют для обеспечения сложных манипуляций с большим количеством точек позиционирования. При этом траектория инструмента между отдельными точками не контролируется и может отклоняться от прямой, соединяющей эти точки. Однако завершение перемещения в каждой запрограммированной точке обеспечивается роботом с заданной точностью. Роботы с позиционной системой программирования в основном используются для контактной точечной сварки.

Контурная система управления задаёт движение в виде непрерывной траектории. Движение инструмента по прямой линии или по окружности требует задания всего двух точек в первом случае и трёх точек – во втором. Это позволяет интерполировать отдельные участки траектории отрезками прямых и ду-



Оборудование и технологии сварочного производства

гами окружности, что существенно сокращает время рования (обучения) робота. Для дуговой сварки, как правило, используют роботы с контурной системой управления.

К роботам, применяемым для сварки, обычно предъявляют дополнительные специальные требования. Например, для роботов, используемых для контактной точечной сварки, можно указать следующее: грузоподъёмность - более 600 Н; погрешность позиционирования - не более 1 мм; система управления – не хуже, чем позиционная; быстрая смена рабочего инструмента (сварочных клещей).

Дуговая сварка характеризуется рядом последовательных операций: возбуждение и поддержание дугового разряда, перемещение электрода вдоль стыка, заварка кратера и разрыв дуги, периодическая очистка сопла сварочной головки. Всё это предъявляет ряд технических требований к промышленным роботам, предназначенным для дуговой сварки. Например, необходимо программное управление не только траекторией движения электрода по стыку, но и технологическими параметрами процесса сварки (сварочный ток, напряжение, скорость сварки, скорость подачи проволоки, расход защитного газа и т.д.); грузоподъёмность должна быть не менее 100...150 Н; число степеней подвижности - не мене 5-6; погрешность позиционирования - не более $\pm 0,2$ мм; система управления - контурная.

Проблема комплексной автоматизации многономенклатурного производства наиболее эффективно решается на основе создания роботизированных технологических комплексов (РТК) различного технологического назначения. В состав РТК могут входить позиционеры и/или сварочные манипуляторы, магазины и/или накопители, источники тока и шкафы управления, устройства для очистки горелки или зачистки электродов.

Технологические возможности РТК определяются не только характеристиками промышленного робота, но и вспомогательным оборудованием и оснасткой, которые позволяют установить изделие в удобное положение при сварке, осуществить кантовку изделия и др. Обычно все роботы, входящие в РТК, и вспомогательное оборудование управляется единой микропроцессорной системой. Кроме того, в состав РТК входит ряд дополнительных устройств, обеспечивающих безопасность его обслуживания и диагностику работы.

В современном сварочном производстве роботы используют



Оборудование и технологии сварочного производства

в виде роботизированных комплексов, когда сварку одной сборочной единицы выполняют несколько сварочных роботов и манипуляторов с микропроцессорным управлением, осуществляющих поворот и перемещение изделия для установки детали в удобное для сварки положение.

Встречаются несколько схемных решений роботизированных комплексов:

- несколько однотипных сварочных роботов, например, дуговых или контактных, осуществляют сварку различных швов одного изделия. Это позволяет повысить производительность изготовления за счет одновременного выполнения нескольких швов и сокращения времени холостых (установочных) перемещений рабочего инструмента, а также упрощает обеспечение доступа рабочего инструмента к месту сварки.

- несколько разнотипных сварочных роботов, например, дуговых и контактных, осуществляют сварку одного изделия.

- один робот работает как манипулятор, устанавливая изделие в удобное для сварки положение, а другие осуществляют сварку. Данное решение более эффективное, чем применение манипулятора, поскольку робот обеспечивает большее число степеней свободы, но существуют ограничения по массе деталей.

- один робот работает как манипулятор, устанавливая изделие в удобное для сварки положение, другой робот с помощью дистанционного измерительного устройства определяет действительные координаты мест сварки и корректирует программу сварочного робота, а третий осуществляет сварку по откорректированной программе с учетом реального расположения мест сварки. Такая схема позволяет исключить ошибки позиционирования, возникающие из-за неточности изготовления и сборки деталей.

8.3. Использование роботов для контактной точечной сварки

Контактная точечная сварка является той областью, где промышленные роботы начали использоваться практически сразу после своего появления. Одной из первых фирм, использовавших промышленные роботы для контактной точечной сварки кузова автомобиля, была фирма Ford, на одном из заводов которой робот Versatran с 1961 по 1971г. проработал 25 тыс. часов. Широкое применение роботов для контактной точечной сварки началось в 70-х годах и широко применяется в настоящее время в автомобильной промышленности.



Оборудование и технологии сварочного производства

Выбор того или иного способа использования роботов для целей контактной точечной сварки зависит от конкретных условий производства.

При использовании стационарных многоточечных машин для контактной сварки промышленные роботы могут загружать отдельные детали, снимать или перемещать сварные узлы на конвейер или в накопитель и подавать следующие изделия в сварочную машину. В этом случае возможно использование простых роботов-манипуляторов с цикловым управлением.

В тех случаях, когда собранный сварной узел имеет чёткие базы для закрепления с помощью схвата робота, а так же размеры и масса узла позволяют производить его кантовку, можно использовать ПР, для перемещения изделия между электродами стационарной сварочной машины с остановками там, где необходимо произвести сварку. Этот способ сварки уже требует использования ПР с позиционным числовым программным управлением.

В тех случаях, когда масса или размеры изделия затрудняют его кантовку, становится целесообразным снабдить ПР сварочными клещами (рис. 8.5) для КТС, которые он перемещает относительно изделия, останавливаясь в местах постановки точек, и выполняет процесс сварки.

В настоящее время большинство роботов для контактной точечной сварки используются в автомобилестроении, т.е. для сварки крупногабаритных конструкций. Поэтому более 95 % всех ПР работают с перемещением сварочных клещей. Для транспортировки клещей к местам сварки и установки их в положение, необходимое для сварки, чаще всего требуются роботы с пятью–шестью степенями подвижности и грузоподъёмностью более массы сварочных клещей, обычно более 60 кг.

При сварке плоских крупногабаритных конструкций необходимы клещи с большим вылетом электродов. При сварке на переменном токе с увеличением вылета возрастает индуктивное сопротивление сварочного контура, что требует увеличения мощности сварочных трансформаторов. Когда требуемый вылет клещей приближается к 800...1000 мм, становится целесообразно заменить их одноточечным или двухточечным распорным пистолетом. Фирма KUKA разработала робот IR 250/500, снабжённый инструментом для односторонней сварки одним или двумя электродами. Он способен развивать усилие, необходимое для осуществления контактной сварки, до 500 ДаН.

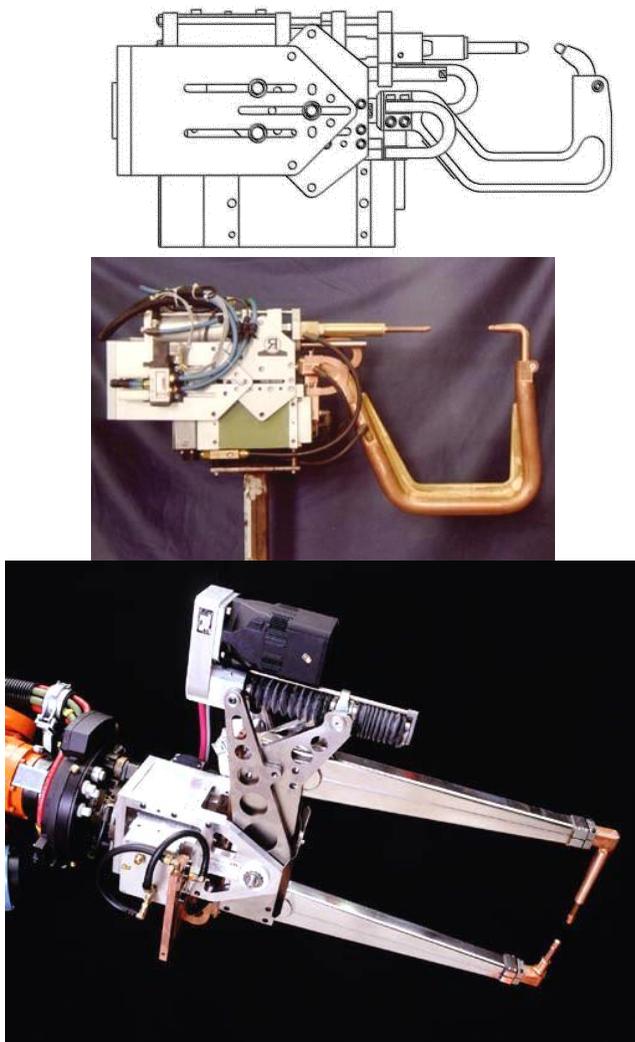


Рис. 8.5. Сварочные клещи для роботов.

Требуемая мощность сварочного трансформатора и напряжение в его вторичной цепи являются функцией сечения и длины токоподводящих элементов во вторичной цепи и площади вторичного контура, определяющего реактивное сопротивление сварочного контура. Поэтому при проектировании РТК необходимо особое внимание уделять размещению сварочного трансфор-



матора и токоведущих частей вторичного контура.

При подвеске трансформатора над роботом клещи, закрепленные на работе, образуют вместе с трансформатором сварочный вторичный контур. Рабочая зона РТК с трансформатором, подвешенным над роботом, загромождена кабелями, из-за чего доступ к внутренним полостям изделия ограничен. Вторичный контур токоподвода изготавливают из гибких многожильных кабелей большого сечения. Чтобы трансформатор не ограничивал рабочую зону ПР, кабели должны иметь достаточную длину, а для уменьшения сопротивления и нагрева сечение кабелей приходится увеличивать (иногда до 250 мм^2). Токоподводящие кабели испытывают значительные электродинамические нагрузки, которые вызывают разрушение кабеля за относительно короткий (2-3 недели) период эксплуатации.

Такую схему используют при применении универсальных роботов.

При установке трансформатора на одном из звеньев руки робота увеличивается нагрузка на робот, но длина токоведущих элементов вторичного контура сокращается в 2-3 раза, что уменьшает реактивное сопротивление контура и позволяет уменьшить мощность, массу и габариты трансформатора.

На роботах, специально предназначенных для точечной сварки, трансформатор и токоведущие элементы вторичного контура размещают в руке робота. Это приводит к значительному уменьшению активных и особенно реактивных потерь мощности во вторичном контуре. Благодаря этому вес трансформатора значительно уменьшается, что позволяет увеличить работоспособность робота.

Использование клещей со встроенным трансформатором позволяет применять ПР без ограничения манипуляционными возможностями робота, так как при этом тяжёлые и жёсткие кабели вторичного контура заменяются легкими и гибкими кабелями малого сечения первичного контура. Клещи со встроенным трансформатором для сварки тонколистовых конструкций весят не более 50 кг.

По данным фирмы «КУКА», при сварке листов $0,8+0,8$ мм одинаковое качество сварки было получено при работе с подвесными сварочными машинами мощностью 100 кВА при ПВ 50 % и клещами со встроенным трансформатором мощностью 23 кВА. При этом трансформатор подвесной машины имел массу 100 кг, а



Оборудование и технологии сварочного производства

трансформатор клещей –16 кг. По данным фирмы «Сияки» (Япония) использование клещей со встроенным трансформатором по сравнению с подвесной машиной позволяет уменьшить потребляемую мощность в 5 раз.

Размещение трансформатора в руке робота позволяет уменьшить длину вторичного контура и, следовательно, габаритные размеры трансформатора; снимает ограничения на манипуляционные возможности робота. Важно подчеркнуть, что жёстко встроенные элементы вторичного контура значительно увеличивается срок службы токоведущих элементов.

При контактной сварке клещи необходимо поворачивать в различных плоскостях с тем, чтобы обеспечить их ориентацию в пространстве по отношению к месту сварки. Это обуславливает определенные трудности подвода к сварочным клещам электроэнергии, сжатого воздуха и жидкости для охлаждения электродов. Чтобы исключить наворачивание на руку робота проводов и шлангов используют скользящий токоподвод и подвод жидкости через муфту, аналогично рис. 3.30. Поворотное устройство, выполняющее эти функции, размещается между рукой робота и сварочной головкой, включающей сварочный трансформатор, электроды и их привод.

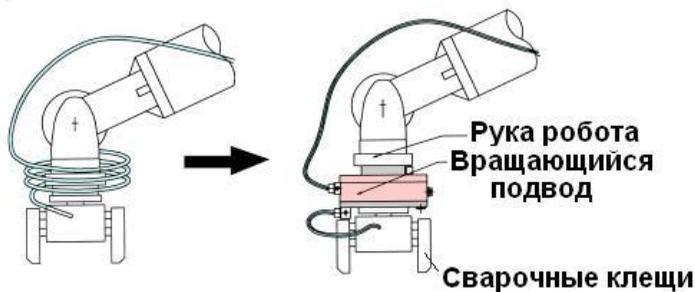


Рис. 8.6. Схемы передачи энергии к сварочным клещам.

В процессе точечной сварки форма концевой часть электродов претерпевает изменения. Вследствие постепенного нарастания остаточной пластической деформации диаметр контактной поверхности увеличивается, что приводит к изменению параметров режима сварки и снижению качества сварного соединения. Для восстановления исходной формы электрода необходимо предусматривать периодическую механическую обработку его торца. После выполнения определенного количества сварных управляющая программа подводит поочередно электроды к уст-



Оборудование и технологии сварочного производства

ройству для зачистки электродов, которое представляет собой фрезу с конусным внутренним отверстием.

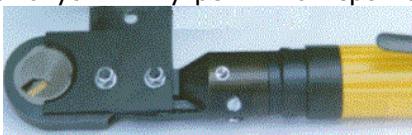


Рис. 8.7. Устройство для восстановления торца электрода

Представляется перспективным инверторных источников тока для роботизированной контактной сварки. Благодаря тому, что в инверторных источниках сварочного тока напряжение питающей сети промышленной частоты преобразуется в напряжение повышенной частоты (до 750 Гц), сварочный трансформатор имеет значительно меньшие размеры. После трансформации напряжение повышенной частоты, снимаемое с вторичной обмотки, выпрямляется и сварка выполняется на постоянном токе, что позволяет увеличить вылет электрода и площадь вторичного контура практически без изменения мощности источника питания, так как реактивная составляющая сопротивления сведена к минимуму.

Для уменьшения массы клещей со встроенным трансформатором их силовые элементы изготавливают из лёгких прочных сплавов.

Использование роботизированной сварки в поточном производстве обуславливает необходимость увеличения периода включения сварочного оборудования (ПВ) до 50 %, что требует улучшения теплоотвода посредством разделения контуров охлаждения для трансформатора и клещей.

Стремление увеличить производительность роботизированной контактной сварки до уровня сравнимого с производительностью рабочего, оперирующего подвесными сварочными клещами, привело к созданию клещей, содержащих несколько пар электродов. Возможны варианты с отдельными приводами каждой пары электродов.

До последнего времени сварочный инструмент определённого типа превращал ПР из универсальной машины в специализированную и резко ограничивал функциональную гибкость. Новым направлением в развитии роботов для контактной сварки является создание возможности смены инструмента в автоматическом режиме, что значительно расширяет гибкость РТК. В момент отключения клещей от руки робота происходит отключение воздуха и вакуумирование в системе подачи воды. Таким образом, когда



Оборудование и технологии сварочного производства

клещи отделяются от руки промышленного робота, вода испаряется и не попадает в зону сварки. Когда же робот берёт из магазина другие клещи, все коммуникации подключаются автоматически.

Сварочные клещи, предназначенные для роботизированной сварки, должны быть снабжены устройством защиты от поломок при случайных столкновениях с другими частями РТК.

Устройство для управления режимом контактной точечной сварки является многопрограммным (режим выбирается при наладке и по программе возможен переход на любой из заранее настроенных режимов) и интегрированным с системой управления роботом, когда в общей программе задаются как перемещения, так и параметры режима сварки.

Следует отметить, что в области контактной точечной сварки достигнуто самое высокое насыщение промышленными роботами - около 75 % максимальной мировой потребности. Уровень роботизации контактной сварки кузовов у ведущих строительных фирм весьма высок. Так, например, на заводах фирмы "Nissan" в настоящее время используется более 1000 роботов для КТС, при этом роботизировано 98 % сварочных работ в кузовном производстве.

В автомобильной промышленности ПР для контактной точечной сварки используют в составе отдельных роботизированных комплексов (для изготовления сборочных узлов) и в сварочных линиях. На сварочных линиях используется подавляющее большинство промышленных роботов, а сами линии подразделяются на следующие типы:

- линии сварки кузовов, где роботы расположены по обеим сторонам конвейера и над ним;

- линии сварки пола, где используют либо горизонтально установленные ПР, способные нести тяжёлые клещи с вылетом до 1000 мм, либо ПР для односторонней сварки, способные развивать большие усилия;

- линии, в которых роботы для КТС и/или изделия перемещают относительно друг друга.

Производительность ПР для контактной сварки зависит главным образом от длительности перемещения рабочего инструмента от точки к точке. Это перемещение стремятся осуществлять с максимально большой скоростью. Однако для предотвращения возникновения дополнительных нагрузок, связанных с силами инерции, вынуждены ограничивать ускорение руки робота. Это приводит к тому, что в некоторых случаях производитель-



Оборудование и технологии сварочного производства

ность роботизированной КТС становится ниже производительности рабочего - оператора, имеющего сварочные клещи. Для повышения производительности стараются совместить во времени работу на одном изделии нескольких сварочных роботов.

Последнее время находит применение концепция модульного построения ПР, которая позволяет в зависимости от требуемого количества степеней подвижности рабочего инструмента собирать из типовых блоков (модулей) роботы для конкретных условий производства. Например, модульный принцип построения ПР, как правило, используют для сварки плоских листовых конструкций. Это даёт возможность использовать менее сложные и, следовательно, менее дорогие роботы.

При внедрении РТК помимо капитальных вложений, связанных с приобретением и монтажом необходимого оборудования, значительных затрат требует проектирование РТК, разработка и корректировка управляющих программ, проверка доступности мест сварки и определение оптимальной траектории движения рабочего инструмента.

В настоящее время для автоматизированного проектирования комплексов и технологии КТС с применением промышленных роботов в России предприятием «Буран» г. Москвы разработан и успешно внедряется программный комплекс "ROBOMAX", который позволяет:

- проверить доступность мест сварки для сварочного инструмента;
- выбрать в базе данных сварочный инструмент, наиболее подходящий для данной совокупности сварных точек;
- спроектировать клещи, оптимальным образом подходящие для сварной конструкции;
- обучить робот сварке данной конструкции с оптимизацией маршрута перемещения клещей и режимов сварки;
- разработать программу сварки на языке программирования робота;
- произвести калибровку технологической программы в соответствии с реальным расположением робота и технологического оборудования в РТК;
- переслать технологическую программу в систему управления робота по стандартному интерфейсу.



8.4. Роботизация процессов электродуговой сварки

Стремительное развитие роботизации дуговой сварки стало возможным благодаря бурному развитию систем микропроцессорного управления движением исполнительного органа робота, разработки высокоточных приводов движения и применению сварки в защитных газах.

Автоматизация процессов дуговой сварки с помощью промышленных роботов даёт технико-экономические преимущества по сравнению с механизированной сваркой. Благодаря увеличению скорости холостых и установочных перемещений рабочего инструмента уменьшается продолжительность цикла изготовления изделия на 30-50 % при одновременном увеличении доли машинного времени сварки в общем технологическом цикле с 30 до 80 %.

В отличие от традиционных методов автоматической сварки (жесткая автоматизация), применение роботов позволяет выполнять сварные швы с любой конфигурацией линии соединения, в различных пространственных положениях и изменять параметры режима в процессе сварки, что способствует применению наиболее экономичных производительных режимов сварки при оптимальном формировании швов. Именно поэтому роботизация дуговой сварки представляется как одно из перспективных направлений развития сварочного производства. Вместе с тем одной из серьёзных проблем, с которыми приходится сталкиваться при роботизации дуговой сварки, является проблема направления конца электрода по стыку. Опыт ведущих фирм в области роботизации дуговой сварки показывает, что из-за трудности решения этой проблемы только 60% разработанных РТК доводятся до промышленного внедрения.

Все факторы, влияющие на качество сварного соединения, выполняемого роботом, можно разделить на две группы:

- факторы, связанные с технологическими параметрами процесса сварки;
- факторы, обусловленные точностью взаимного позиционирования электрода и стыка.

При освоении роботизированной сварки первая группа факторов, как правило, не создаёт особых проблем, поскольку в промышленных сварочных роботах предусмотрен контроль и поддержание в заданном диапазоне основных технологических параметров. Система управления контролирует параметры режимов сварки до 30 раз в минуту, что позволяет поддерживать их с точ-



ностью $\pm 5\%$.

Таким образом, задача оценки возможности сварки роботом может рассматриваться как задача обеспечения заданного качества сварного соединения, сформулированного в терминах допустимых отклонений электрода от линии свариваемого стыка в системе «изделие – оснастка для сборки и сварки – манипуляционная система изделия – робот – оператор».

Точность взаимного позиционирования электрода и стыка является функцией геометрических отклонений вышеназванной системы. Все отклонения можно разделить на две группы:

- к первой группе относятся отклонения, связанные с работой робота, снабжённого сварочной горелкой, и приводящие к смещению электрода от проектного положения (обозначим «А»);

- ко второй группе относятся отклонения, вызывающие смещение линии сопряжения свариваемых кромок от проектного положения (обозначим «Б»).

Качество сварных соединений, выполняемых роботизированной сваркой, зависит от величины отклонения конца электрода от реального положения стыка $\delta = A + B$ и величины зазора «b» в стыке (рис. 8.8), где показаны два наиболее неблагоприятных случая, когда величина $\delta = A + B$.

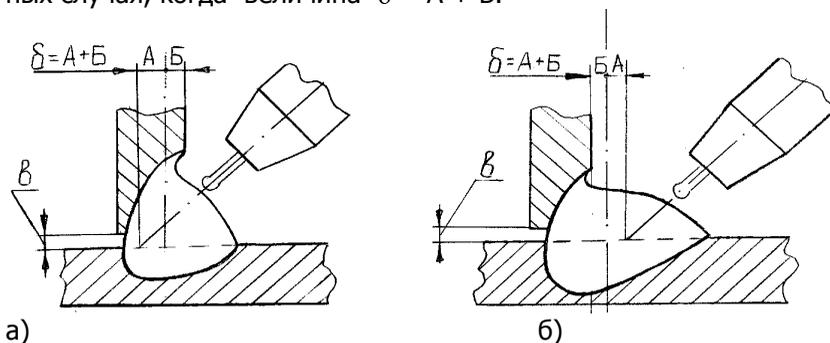


Рис. 8.8. Схема двух наиболее неблагоприятных случаев смещения электродной проволоки от реального положения стыка (штрих-пунктирная линия указывает проектное положение стенки): а) - стенка смещена от проектного положения вправо – «Б», а электродная проволока влево – «А»; б) - стенка смещена от проектного положения влево – «Б», а проволока вправо – «А»

Качество соединения обеспечивается при условии, что отклонение $\delta = A + B$ и зазор «b» не будут превышать некоторых предельных значений $[\delta]$ и $[b]$.

Эти условия можно выразить следующими



ствами:

$$\delta = (A + B) < [\delta] \quad (8.1)$$

$$b < [b] \quad (8.2)$$

Отклонение электродной проволоки от проектного положения рассчитывается как:

$$A = \Delta \varepsilon + \Delta \rho + \Delta r, \quad (8.3)$$

где $\Delta \varepsilon$ – отклонение оси электродной проволоки от оси горелки, вызванное некачественной рихтовкой проволоки;

$\Delta \rho$ – отклонение проволоки от проектного положения, вызванное неточностью при программировании робота;

Δr – отклонение, связанное с точностью позиционирования робота.

Опыт показал, что при тщательной наладке подающих механизмов сварочной оснастки возможно добиться отклонения конца электрода $\Delta \varepsilon$ от оси горелки 0,2...0,3 мм при вылете электрода 15...20 мм.

При оценке погрешности программирования робота на изделии существенными оказываются не только квалификация, доступность и освещенность зоны программирования, опыт и добросовестность оператора, но и типы швов, расположение их на изделии. Специальные эксперименты показали, что ошибки программирования меньше на тавровых и нахлесточных сварных соединениях, чем на стыковых, причем ошибки возрастают с увеличением зазоров в соединениях. Установлено, что в цеховых условиях, при хорошей освещенности и умеренной комфортности работы оператора ошибка при программировании сварки соединений с угловыми швами не превышает 0,4 мм с доверительной вероятностью 95%.

Экспериментальная проверка реальной повторной точности позиционирования роботов типа ПР 160 / 15 показала, что при скоростях подвода горелки, не превышающих 80% от максимальной, погрешность позиционирования роботов по всем трем координатам не превышает 0,1 мм., т.е. оказалась выше паспортной (0,2 мм).

Таким образом, при роботизированной дуговой сварке отклонение электродной проволоки «А» по консервативным оценкам составляет:



Оборудование и технологии сварочного производства

$$A = \Delta \varepsilon + \Delta \rho = 0,3 + 0,4 = 0,7 \text{ мм.}$$

В данной формуле отклонение $\Delta \rho$ не учитывалось, поскольку её доля присутствует при экспериментальном определении в $\Delta \varepsilon$, и $\Delta \rho$.

Как видно из схемы, представленной на рис. 8.8, величина возможного отклонения линии сопряжения свариваемых кромок от проектного положения «Б» зависит от отклонений, связанных с конструкцией изделия, технологией его изготовления, конструкцией сборочно-сварочной оснастки и манипуляционных устройств изделия, если они есть в составе РТК. Таким образом, величина «Б» является функцией многих величин и её можно записать как:

$$B = \Psi (\Delta M; \Delta D; \Delta L; \Delta f; \Delta T),$$

где ΔM – отклонение, связанное с манипуляционной системой изделия (с точностью позиционирования манипулятора, вращателя или позиционера, входящего в состав РТК); обычно эта величина у программируемых манипуляторов составляет 0,2 мм;

ΔD – отклонение линии соединения, связанное с деформацией конструкции; значение ΔD получают либо путём расчёта, либо измерением на конструкциях в процессе их опытного изготовления или при отладке технологического процесса;

ΔL – отклонение линейных размеров, а именно тех частей заготовок, которые влияют на положение линии соединения и величину зазора в соединении;

Δf – отклонение формы детали, влияющее на положение линии соединения и величину зазора в соединении;

ΔT – отклонение линии соединения изделия в сборочно-сварочном приспособлении, определяемое точностью его изготовления, если их в составе РТК несколько, а программа сварки одна.

Величину «Б» с консервативных позиций можно рассчитывать следующим образом:

$$B = \Delta M + \Delta D + \Delta C, \quad (8.4)$$

где ΔC – отклонение положения стыка в пространстве относительно проектного зависит от величин: ΔL ; Δf ; ΔT ; степень их влияния определяется схемой базирования деталей в сборочно-сварочном приспособлении; именно расчёт размерных цепей, в



Оборудование и технологии сварочного производства

которые входят размеры (ΔL , Δf , ΔT) и будут давать ответы на вопросы:

- какова величина наибольшего зазора «b» в соединении;
- какова величина наибольшего смещения стыка ΔC в пространстве при выбранной схеме базирования.

Рассмотрим влияние различных схем базирования на величину возможного смещения стыка в пространстве ΔC и величину зазора «b» в соединении.

На рис. 8.9. показана схема базирования стыкового соединения по короткой детали (схема № 1). В этом случае возможное отклонение стыка в пространстве $\Delta C = |\Delta L^B - \Delta L_H| + |\Delta T^B - \Delta T_H|$, а величина зазора b стремится к нулю.

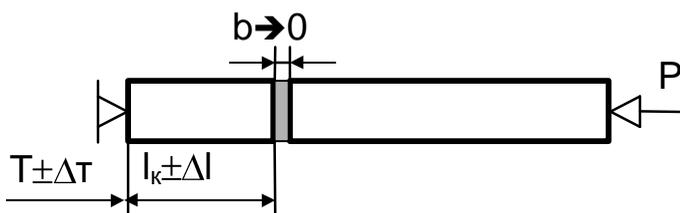


Рис. 8.9. Схема № 1 базирования стыкового соединения:

b - зазор при сборке; T и ΔT размер и точность установки фиксаторов, входящих в конструкцию приспособления соответственно;

L и ΔL длина базируемой детали и точность её изготовления

В приведенной формуле ΔL^B и ΔL_H , ΔT^B и ΔT_H соответственно верхнее и нижнее отклонения размеров детали и установки фиксаторов. С ростом размеров собираемых деталей и сохранением величин квалитетов отклонения растут, поэтому при базировании стыковых соединений в качестве базовой детали целесообразно выбирать более короткую. Если точность изготовления деталей разная, то в качестве базовой лучше выбрать ту, которая будет вызывать меньшее отклонение стыка в пространстве. Если программирование ведётся непосредственно по изделию, собранному в приспособлении, то точность изготовления приспособления $|\Delta T^B - \Delta T_H|$ можно не учитывать и формула примет вид



Оборудование и технологии сварочного производства

$$\Delta C = \Delta L^B - \Delta L_H$$

На рис. 8.10 показана схема базирования стыкового соединения по обеим деталям (схема № 2), здесь максимальная величина зазора b и возможное отклонение стыка в пространстве ΔC рассчитывают по формулам:

$$b = |\Delta L^B - \Delta L_H| + |\Delta l^B - \Delta l_H| + 2\Delta T^B,$$

$$\Delta C = (\Delta L_H + \Delta l_H) / 2 + \Delta T^B.$$

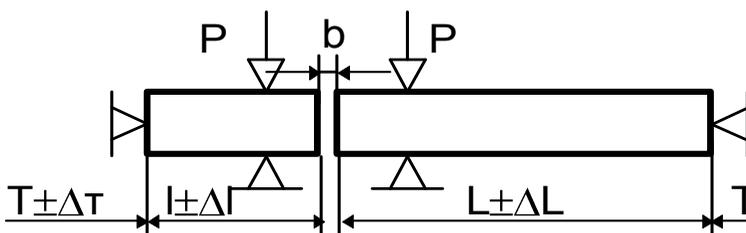


Рис. 8.10. Схема № 2 базирования стыкового соединения

На рис. 8.11 показана схема базирования стыкового соединения по ножу (схема № 3). В этом случае величина зазора $b = \text{const}$, а возможное отклонение стыка в пространстве определяется точностью установки ножа, и, как правило, можно принять $\Delta C = 0$.

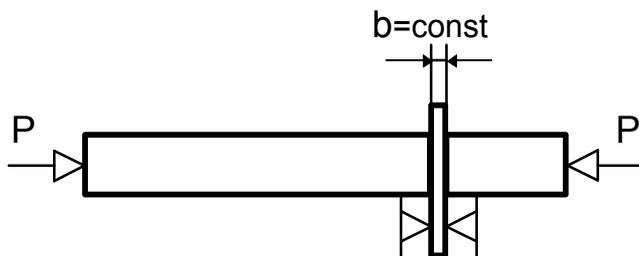


Рис.8.11. Схема № 3 базирования стыкового соединения

На рис. 8.12 показана схема базирования трёх деталей с двумя стыковыми соединениями (схема № 4). В этом случае величина зазора « b » стремится к нулю, а величины возможных откло-



нений стыков в пространстве определяют:

$$\text{для первого стыка } \Delta C_1 = |\Delta L^B - \Delta L_H| + |\Delta T^B - \Delta T_H|;$$

$$\text{для второго стыка } \Delta C_2 = |\Delta L^B - \Delta L_H| + |\Delta T^B - \Delta T_H| + |\Delta L^B - \Delta L_H|.$$

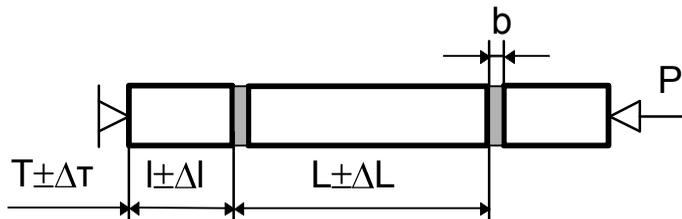


Рис. 8.12. Схема № 4 базирования стыкового соединения

На рис.8.13. показана схема базирования стыкового соединения со сменой баз (схема № 5). При базировании по этой схеме величина зазора стремится к нулю, а возможное отклонение обоих стыков в пространстве равна:

$$\Delta C_1 = \Delta C_2 = |\Delta L^B - \Delta L_H| + |\Delta T^B - \Delta T_H|.$$

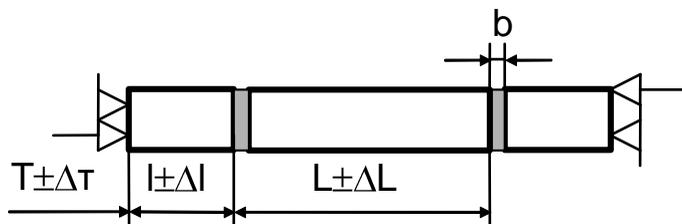


Рис. 8.13. Схема № 5 базирования стыкового соединения

Каждая из приведенных схем имеет свои достоинства и недостатки. С точки зрения роботизации сварки стыковых соединений наиболее перспективными являются:

1. схема №3 (базирование по ножу), так как в этом случае смещение кромок от проектного положения практически равно нулю $\Delta C=0$, а величина зазора может равняться толщине ножа;

2. схема №5 (схема базирования со сменой баз). Она обеспечивает зазор при сварке практически равный нулю и небольшое отклонение величины ΔC , равное величине погрешности изготовления только одной крайней детали $|\Delta L^B - \Delta L_H|$.

При изготовлении тавровых соединений качество выполнения сварных швов еще в большей мере зависит от выбранной



схемы базирования.

На рис.8.14 представлена схема сборки уголка с плоскостью при базировании по ширине полки (схема №6).

Возможные отклонения шва 1 от проектного положения $\Delta C_1 = |\Delta T^B - \Delta T_H| + 1/100 * H$.

Возможные отклонения шва 2 от проектного положения $\Delta C_2 = |\Delta L^B - \Delta L_H| + |\Delta T^B - \Delta T_H| + 1/100 * H$.

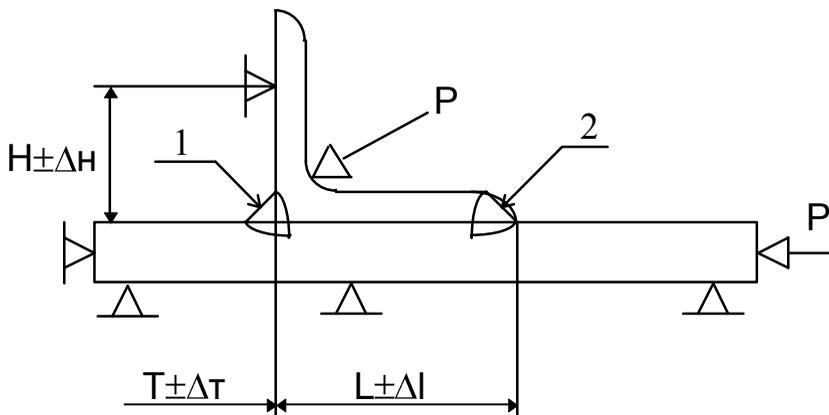


Рис.8.14 Схема №6 базирования таврового соединения

На рис.8.15 представлена схема сборки уголка с плоскостью при базировании по перу уголка (схема № 7). Возможные отклонения швов 1 и 2 от проектного положения соответственно равны:

$$\Delta C_1 = |\Delta L^B - \Delta L_H| + |\Delta T^B - \Delta T_H|; \quad \Delta C_2 = |\Delta T^B - \Delta T_H|.$$

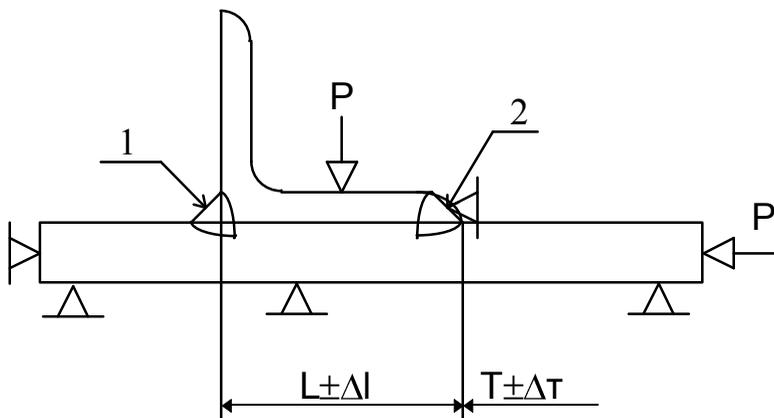


Рис. 8.15. Схема № 7 базирования таврового соединения

Во всех приведенных схемах базирования (№ 1 - № 7) погрешность приспособления $|\Delta T^B - \Delta T_H|$ можно не учитывать, если для каждого приспособления составлена своя программа. Это объясняется тем, что программирование сварки ведётся по собранному изделию в уже готовом приспособлении. Поэтому отклонения размеров фиксаторов, поставленных на сборочном чертеже или полученные при изготовлении приспособления, не оказывают влияния на величину возможного смещения проволоки относительно стыка соединения. Если в технологическом процессе неизбежна смена сборочно-сварочной оснастки, используемой совместно с роботом, то и в этом случае величину $|\Delta T^B - \Delta T_H|$ можно не учитывать, но для каждого из сменных приспособлений рекомендуется составить индивидуальную программу, а в алгоритм работы РТК ввести специальный код, распознающий приспособление и выбирающий соответствующую программу.

В большинстве случаев достаточным условием получения качественного соединения, как правило, является обеспечение требуемой геометрии шва. Под этим понимают получение швов, размеры которых соответствуют ГОСТ 14771-76, (катеты швов должны выполняться со следующими отклонениями: $3_{-0,5}^{+1,0}$; $4_{-0,5}^{+1,0}$; $5_{-0,5}^{+1,0}$; $6_{-1,0}^{+2,0}$; $8_{-1,0}^{+2,0}$), большинство технических условий требуют отсутствия прожогов и подрезов глубиной более 15 %



Оборудование и технологии сварочного производства

толщины свариваемых элементов. Если предположить, что такие технические параметры, как ток и напряжение дуги, скорость подачи электрода, скорость сварки, состав и расход газа, т.е. те параметры, которые определяются сварочным оборудованием, выбраны правильно и поддерживаются в заданных пределах, то на качество сварки конкретного соединения будут оказывать влияние параметры, зависящие от самого изделия, сборочно-сварочного приспособления и манипуляционной системы.

При заданном режиме сварки допустимые отклонения электрода от линии соединения $[\delta]$ и зазор в стыке $[b]$ зависят от многих факторов и прежде всего от типа соединения, толщины материала, величины катетов, приёмов сварки и точности сборки. На рис. 8.16 приведены экспериментальные данные о допустимых отклонениях положения электрода в зависимости от положения стыка в пространстве и от числового значения зазора при сварке таврового соединения угловым швом катетом 8 мм. Сварное соединение получается качественным, если указанные параметры (b , δ) не выходят за пределы площади фигуры, построенной в координатах b - δ и ограниченной предельными значениями этих параметров. В дальнейшем будем называть эту фигуру «областью качества». Если зазор или отклонение электрода от стыка выходят за пределы заштрихованной зоны (области качества), то появляется вероятность нарушения качества сварных соединений.

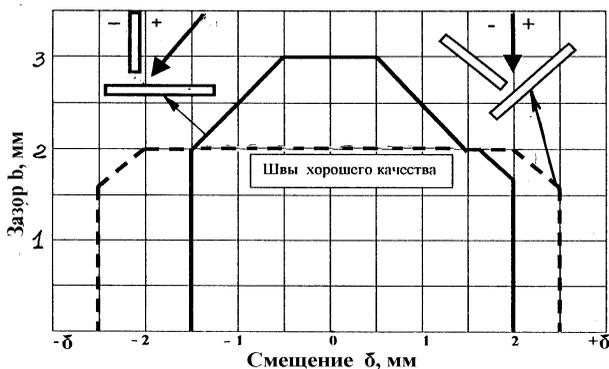


Рис.8.16. Допускаемые отклонения положения электрода и численные значения зазора при сварке угловых швов катетом 8 мм пластин толщиной 6 мм. Режим сварки: проволока Св-08Г2С- \emptyset 1,6 мм; вылет электрода-18 мм; ток-330 А; напряжение-25 В; скорость сварки-33 м/ч; расход CO_2 -Q = 18...20 л/мин.



На рис.8.17 показаны соответствующие «области качества» для тавровых соединений из пластин толщиной 4 мм, сваренных «в угол».

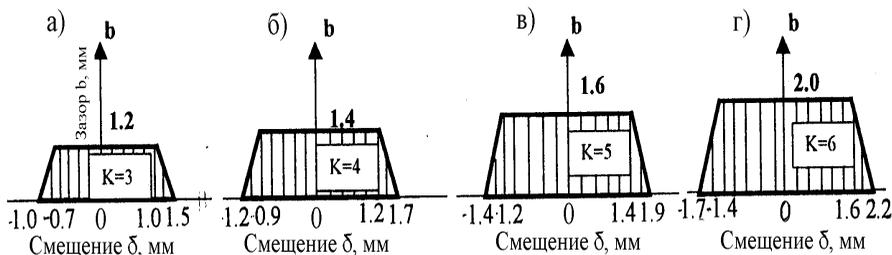


Рис 8.17. Области качества для тавровых соединений, выполненных в нижнем

положении « в угол», катетами: а – $K = 3$ мм; б – $K = 4$ мм; в – $K = 5$ мм; г – $K = 6$ мм. Режим сварки: проволока Св-08Г2С – $\varnothing 1,2$ мм; напряжение на дуге $U=32$ В; ток $I=240$ А; вылет электрода - 16 мм; расход углекислого газа $Q=14...18$ л/мин; различные величины

катетов 3; 4; 5; 6 мм получали за счет изменения скорости сварки соответственно $V_{св}=54; 42; 30$ и 21 м/ч.

Использование условий: $\delta = (A + B) < [\delta]$ и $b < [b]$ позволяет судить, можно ли при дуговой сварке конкретного изделия обеспечить требуемое качество без использования дорогих адаптированных роботов.

8.5. Пример разработки роботизированного комплекса дуговой сварки каркаса подбарабанья комбайна «ДОН-1500»

Одним из наиболее ответственных узлов в зерноуборочном комбайне является молотильный агрегат, схема которого показана на рис. 8.18. Качество обмолота зависит, главным образом, от дугообразного клинового зазора между барабаном 1 и решетчатой цилиндрической панелью 2, называемой подбарабаньем. На выходе зазор между бичами 3 барабана и планкой подбарабанья не должен превышать 1,0 мм, а непараллельность их – 0,5 мм на длине барабана 1500 мм.

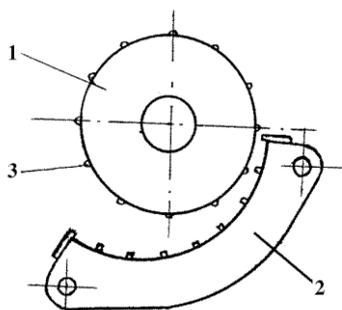


Рис. 8.18. Схема молотильного агрегата зерноуборочного комбайна

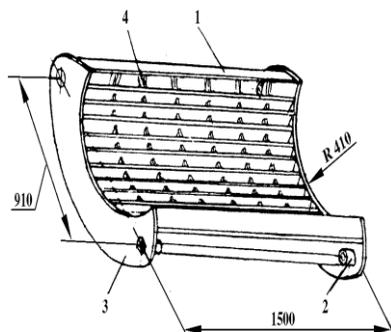


Рис. 8.19. Каркас подбарабannya комбайна «Дон-1500»

Каркас подбарабannya (рис. 8.19) представляет собой сварную конструкцию, состоящую из семнадцати продольных планок 1, боковые грани которых должны располагаться по радиусу $R=410$ мм. По торцам набор замыкают две боковины 3, имеющие на концах отверстия, в которые вварены втулки 2 для подвески подбарабannya в молотильном агрегате. По длине набор планок скреплен шестью дугообразными ребрами 4, пропущенными в прямоугольные отверстия планок. Короткие угловые швы между элементами 1, 2 и 4 (их более 280) обеспечивают пространственную жёсткость конструкции подбарабannya. Требования к точности геометрии этого узла весьма высоки:

- межцентровое расстояние отверстий в боковинах $L = 910 \pm 0,7$ мм;
- радиус рабочей поверхности $R = 410 \pm 0,5$ мм;
- отклонение от цилиндричности $\pm 0,5$ мм;
- расстояние между любыми двумя планками – 60 ± 1 мм.

Малая жесткость конструкции и большое количество коротких сварных швов, эксцентрично расположенных на деталях, вызывают настолько значительные сварочные деформации, что при ручной сварке обеспечить точность таких узлов удаётся только рихтовкой, правкой или последующей механической обработ-



кой, трудоёмкость которой иногда сопоставима с трудоёмкостью всех остальных этапов изготовления. Возможность обеспечения требуемой точности маложёстких узлов с помощью роботизированной дуговой сварки показывает излагаемый ниже пример создания и эксплуатации РТК для сварки каркаса подбарабья. При создании РТК пришлось решать несколько проблем.

Первая проблема при разработке компоновки РТК возникла в силу того, что выполнить все сварные швы каркаса одним роботом IR 161/15 невозможно из-за недостаточного объёма его памяти. В то же время одновременная работа двух роботов на одном изделии осложняется тем, что его габариты и расположение швов могут вызвать столкновение кистей роботов, а разводка их во времени увеличивает простои. В связи с этим была принята схема роботизированной сварки на двухместном позиционере, когда два робота одновременно сваривают по половине швов, находящихся на каждом из двух каркасов, после чего они с помощью позиционера обмениваются изделиями и сваривают вторую половину швов. Такая схема исключала переустановку изделий в приспособлениях, синхронизацию работы роботов, упростила их рабочие программы (уменьшается требуемый объём памяти робота, так как каждый из них сваривает только половину швов, находящихся на каркасе подбарабья). В то же время, такая схема предполагает создание манипулятора с высокой точностью позиционирования, снабженного специальной оснасткой, обеспечивающей требуемую точность узла после сварки и фиксирование в пространстве свариваемых кромок при сварке каждого углового шва.

Вторая сложность при создании РТК заключалась в том, что практически все швы на каркасе расположены в узком пространстве между двумя соседними планками, расстояние между которыми не превышает 60 мм, в результате чего доступ горелки к швам ограничен. Анализ доступности швов для горелки показал, что она может располагаться между планками только под острым углом $\approx 32^\circ$ к оси шва, но при режиме сварки: $I=200$ А, $U=28$ В, $V=30$ м/ч, обеспечивается удовлетворительное формирование шва, при этом глубина проплавления уменьшается незначительно. Поэтому такую ориентацию горелки сочли допустимой.

Третьей проблемой при создании РТК с использованием неадаптивных дуговых роботов стало обеспечение качества сварных соединений, которое в основном определяется случайной величиной отклонения конца электрода от линии сопряжения деталей, а также изменением взаимного положения свариваемых кро-



Оборудование и технологии сварочного производства

мок (например, зазоров) и размеров конструктивных элементов шва.

Напомним, что отклонение электрода от реального положения оси шва δ складывается из отклонения конца электрода «А» и отклонения линии сопряжения кромок деталей «Б» от проектного положения стыка, т.е. $\delta = A + B$.

Как было показано в разд. 8.4, значение величины «А», с использованием консервативной оценки, можно принимать равным 0,7 мм.

Значение величины $B = \Delta M + \Delta D + \Delta C$ определяется несколькими факторами. Точность позиционирования изделия ΔM в основном зависит от выбранного манипулятора. Обычно серийно выпускаемые программируемые манипуляторы изделий обеспечивают точность позиционирования, не уступающую точности используемых роботов. Поэтому, исходя из выбранной структурной схемы РТК, был спроектирован манипулятор с горизонтальной осью вращения, который должен был обеспечивать ΔM в пределах $\pm 0,2$ мм. Проверка показала, что изготовленный манипулятор обладает указанной точностью.

Наиболее сложным и в то же время существенным для качества сварных соединений является влияние сварочных деформаций ΔD на положение стыков в пространстве. При разработке позиционера удалось найти конструктивное решение, позволившее практически исключить влияние временных и остаточных сварочных деформаций. Этот результат достигнут за счёт использования приёма «смены баз».

Для оценки величины ΔC в соединениях боковины с планками необходимо рассмотреть схему базирования этих деталей, показанную на рис. 8.20 и реализованную в сборочном стенде. Точность сборочно-сварочной оснастки, как правило, на несколько порядков выше, чем сварной конструкции, которую на ней собирают, т.е. в абсолютных значениях допуски на изготовление и установку базовых элементов в 5-10 раз меньше допусков свариваемых деталей. Реально при производстве оснастки можно рассчитывать на точность размеров порядка 0,2...0,3 мм. Однако в тех случаях, когда обучающее программирование выполняется непосредственно на сварочной оснастке, входящей в РТК, и эта оснастка не является сменной, отклонения оснастки можно не учитывать. В качестве базовой плоскости приняли внешнюю поверхность А одной из боковин. Каждую боковину с заранее приваренными втулками 2 устанавливают в стенде на две цилиндри-



Оборудование и технологии сварочного производства

ческие оправки. В упор к базовой боковине устанавливают торцами семнадцать планок 3. На рисунке для простоты показана только одна из них.

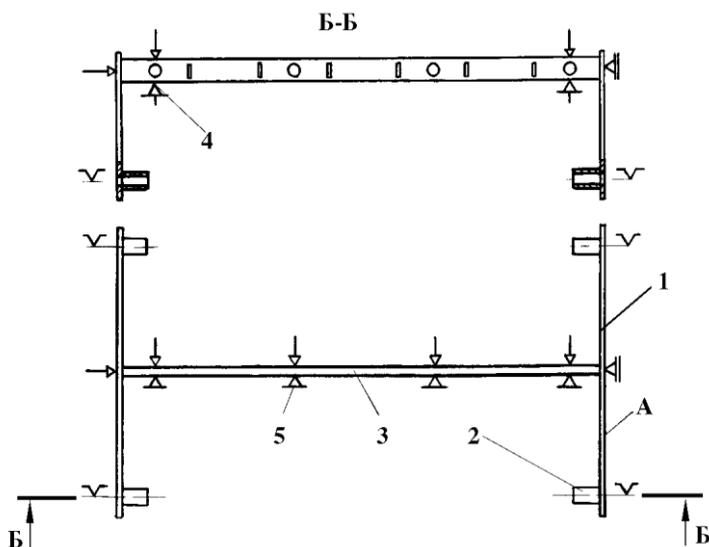


Рис. 8.20. Схема базирования деталей каркаса в сборочном стенде:

1 – боковина, 2 – втулка, 3 – планка, 4 – опоры регулируемые, 5 – опоры постоянные

Следует отметить, что планки получают путем контурной вырубki. За один ход пресса отрезают планку в заданный размер и одновременно пробивают шесть прямоугольных окон по размерам, отсчитанным от базового торца, который маркируют пробивкой круглого дополнительного технологического отверстия. Этим торцом и базируют планки на боковину. Для задания проектного положения в радиальном и тангенциальном направлениях каждую планку базируют на две регулируемые опоры 4 и на четыре нерегулируемые опоры 5, а затем прижимают к ним отдельными прижимами. Наиболее критичным в отношении точности задания положения швов, соединяющих планки с боковинами, является смещение концов планок в тангенциальном направлении Δf (см. рис. 8.21). Для уменьшения этих смещений опорные базы необходимо располагать как можно ближе к концам планок.

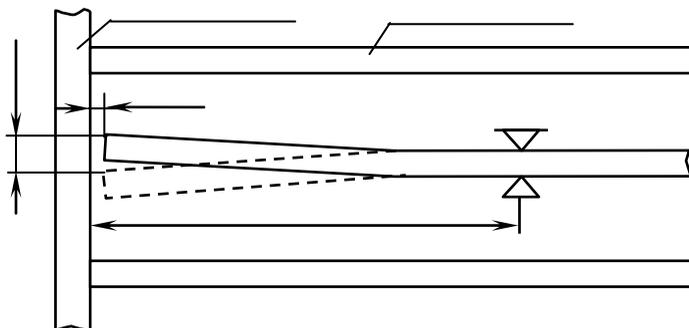


Рис. 8.21. Соединение планок с боковиной

Для свободного доступа к местам прихваток каждая планка закреплялась на расстоянии $K=100$ мм от торца. При допустимой неплоскости планки 2 мм на длине 1000 мм возможное смещение торца планки составляет 0,2 мм в любую сторону. К плоскости, образованной свободными торцами планок, прижимают вторую боковину, зафиксированную аналогично первой. Очевидно, что положение в пространстве этих сварных соединений может изменяться от изделия к изделию случайным образом в пределах допуска на длину планки. Благодаря контурной вырубке разброс длин планок ΔL и координат прямоугольных окон не превышал 0,3 мм. Учитывая, что смещения ΔL и Δf лежат во взаимно перпендикулярных плоскостях, величину ΔC для данного соединения определяли как $\Delta C = [(2\Delta f)^2 + \Delta L^2]^{0,5} = 0,5$ мм. Таким образом, величина $\delta = A + B = 0,7 + (0,2+0,5) = 1,4$ мм и $b = 0,3$ мм. Нанеся полученные данные на «область качества» для катета $K = 5$ мм, убедились, что рассмотренное соединение должно быть качественным.

Рассмотрим другое соединение, образуемое рёбрами и планками, показанное на рис. 8.22. В этом соединении максимальный зазор между ребром и краем окна составляет 0,5 мм, а точность расположения последнего – 0,3 мм. Таким образом, для этого соединения величина $\delta = A + B = 0,7 + 0,5 = 1,2$ мм и $b = 0,3$ мм, что также обеспечивает получение качественных сварных швов.

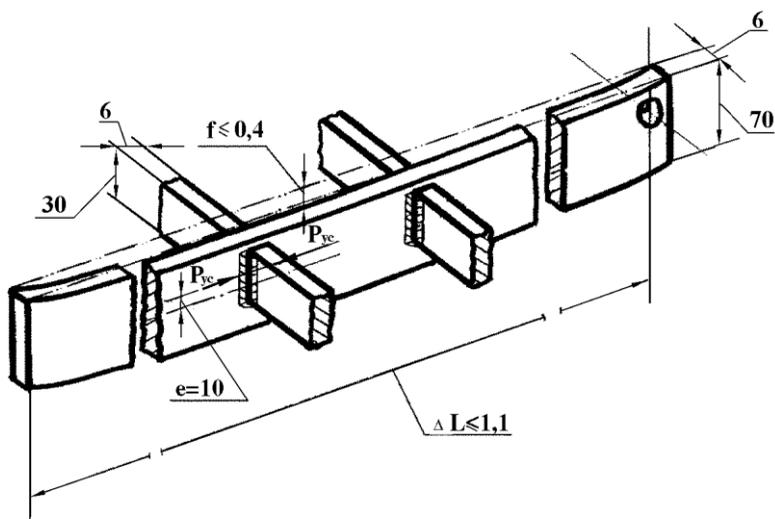


Рис. 8.22. Соединение ребер с планками

Однако обеспечение качества сварных соединений ещё не гарантирует получение качественной сварной конструкции. В данном случае наибольшей сложностью явилось обеспечение требуемой формы и точности размеров каркаса подбарабана. Эксцентричное расположение сварных швов на элементах каркаса, показанное на рис. 8.23, вызывает деформации сложного вида.

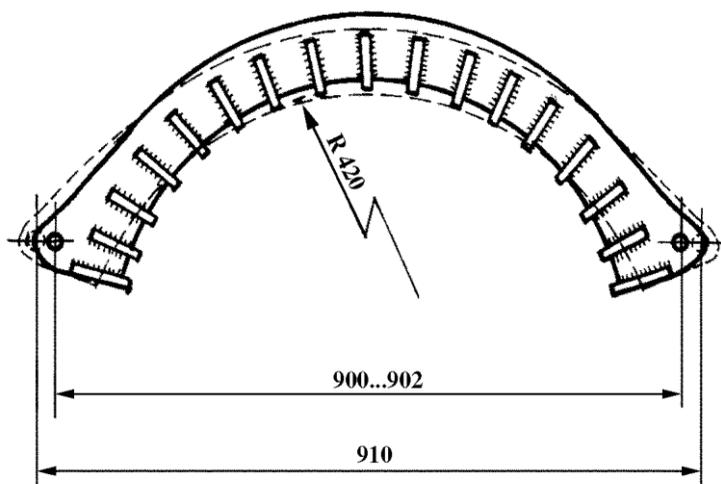


Рис. 8.23. Деформации каркаса в месте прикрепления планок к боковине после сварки в свободном состоянии: - - - - было; — — стало.

Измерения показали, что каркас, выполненный по такой технологии, получает следующие отклонения от проектной формы:

- межцентровое расстояние уменьшается с 910 до 900 мм;
- радиус R уменьшается таким образом, что зазор между средними планками и шаблоном этого же радиуса достигает 18 мм;
- длина каркаса уменьшается не более чем на 1 мм;
- диагональный перекося каркаса и отклонение от соосности отверстий втулок достигает 12 мм;
- внутренняя рабочая цилиндрическая поверхность приобретает бочкообразную форму с отклонением от цилиндричности до 2 мм.

Для компенсации диагонального перекося каркаса было предложено изменить расположение сварных швов, соединяющих планки с рёбрами, как показано на рис.8.24. Расположение швов по варианту «а» приводит к суммированию угловых деформаций от каждого углового шва, что приводит к перекося по диагонали подбарабанья. При сварке швов, расположенных по варианту «б», угловая деформация каждого последующего соединения вдоль планки имеет противоположное направление по отношению к предыдущему, что существенно уменьшает диагональный перекося



Наибольшее влияние на геометрию каркаса оказывают изменения межцентрового расстояния и радиуса рабочей поверхности (см. рис. 8.23).

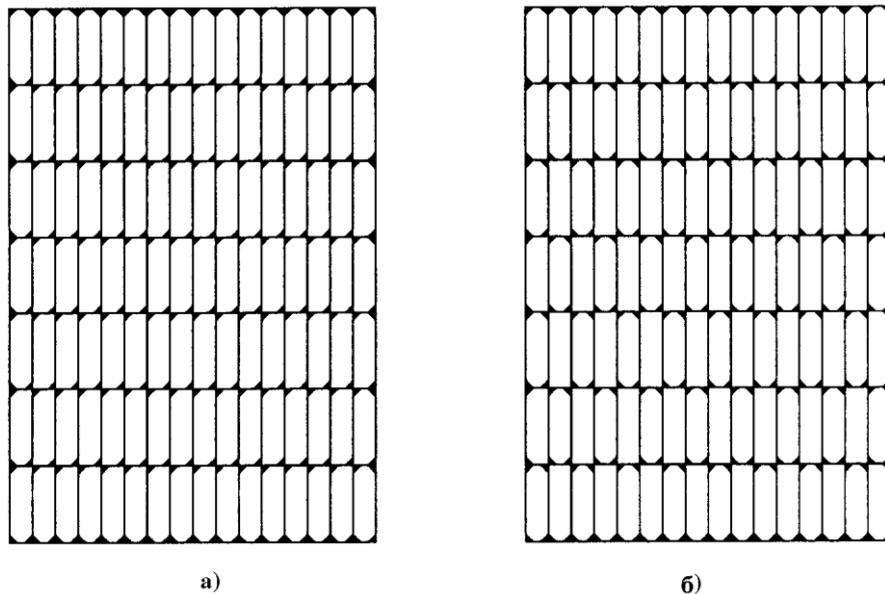


Рис. 8.24. Расположение швов, соединяющих планки с ребрами:
а- проектное; б – предложенное

Основной причиной деформации каркаса является усадка сварных швов, крепящих набор планок к боковинам. В связи с этим потребовалось использовать способ регулирования сварочных деформаций.

Конфигурация каркаса, в которой боковину можно рассматривать как кривой брус, позволяет для борьбы с остаточными деформациями реализовать приём приложения постоянной силы по линии, соединяющей центры втулок боковин (рис. 8.25).

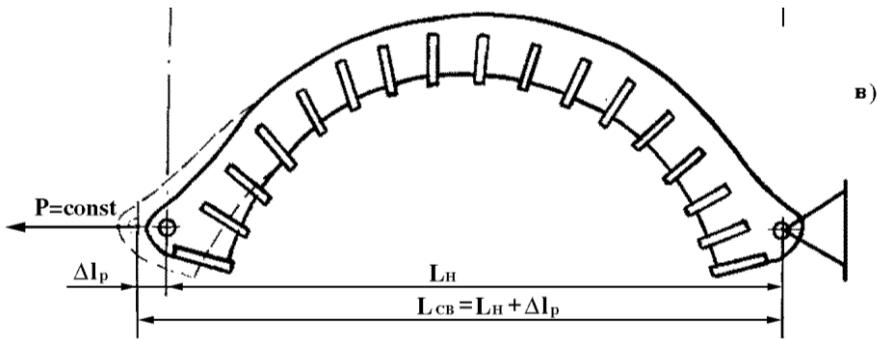


Рис. 8.25. Способ уменьшения деформаций каркаса подбарабья:
 - - - - до сварки, ——— — после сварки

Экспериментально установлено, что оптимальная величина усилия растяжения R_n , обеспечивающая после приварки всех планок к боковине сохранение межцентрового расстояния в заданных пределах ($910 \pm 0,7$ мм), составляет $7,8 \pm 0,5$ кН. Обработка результатов показала, что выборочное среднее значение межцентрового расстояния L_n после сварки составило 909,8 мм, дисперсия – $0,662$ мм².

Сопоставление отклонений, полученных при сборке и при сварке, позволило оценить долю каждой операции в конечном результате. После сборки разброс, значений L составлял $910 \pm 0,6$ мм. Разброс же отклонений, вызванных сваркой, составил $910^{+1.1}_{-1.3}$ мм, что свидетельствует о нестабильности технологических параметров процесса сварки. Для оценки влияния колебаний режима сварки на стабильность геометрии каркасов и величины растягивающего усилия на межцентровое расстояние в специальном эксперименте изготавливали каркасы при повышенном и пониженном сварочном токе и трех уровнях растягивающей нагрузки. Рис. 8.26 демонстрирует это влияние.

Таким образом, конструкторско-технологические решения, предложенные для уменьшения остаточных сварочных деформаций, а также разработанные технология и оборудование обеспечивают получение проектной геометрии каркаса подбарабья при строгом соблюдении технологических параметров (качества сборки, величины растягивающих усилий, режимов сварки, размеров сварных швов и порядка их выполнения). При использовании механизированной сварки обеспечить требуемый уровень стабильности параметров сварки практически невозможно, тогда как использование роботов это позволяет. Качество сварных швов



Оборудование и технологии сварочного производства

подбаранья будет обеспечено, если удастся реализовать высокую точность позиционирования свариваемого элемента и исключить влияние сварочных деформаций на положение швов в пространстве.

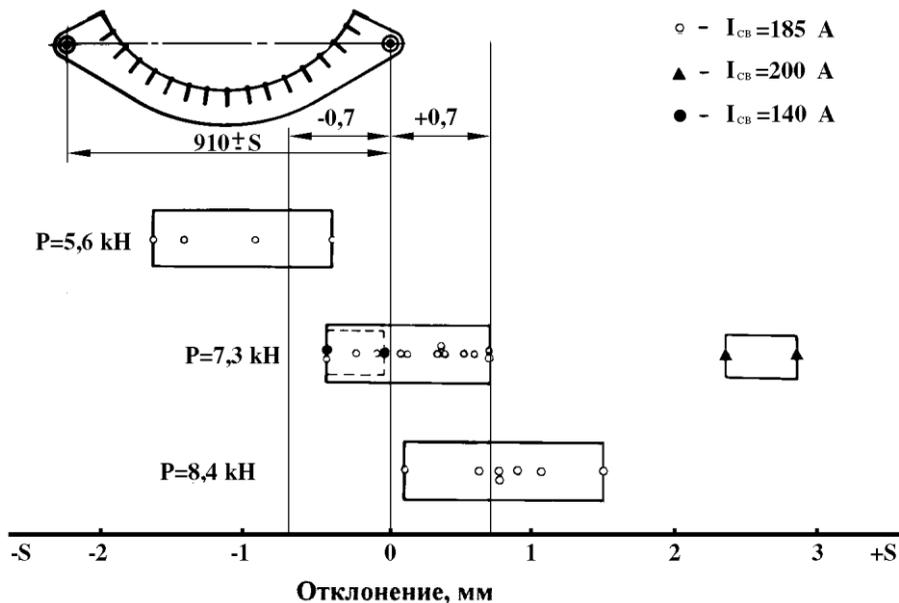


Рис. 8.26. Влияние режимов сварки и усилий, прикладываемых к боковине, на рассеяние величины межцентрового расстояния ($910 \pm 0.7 \text{ мм}$).

Сборку каркаса производили в два этапа. Сначала собирали на прихватках решетку, состоящую из планок и ребер, а затем к ней с двух сторон прижимали и прихватывали боковины с приваренными втулками. Конструкция стенда для сборки представлена на рис. 8.27. Его основными узлами являются: стол 1, фиксатор гребенчатый 2, прижим откидной 3, блок каретки 4. Стол 1 имеет раму, на которой размещены поперечные балки, служащие опорой для остальных узлов.

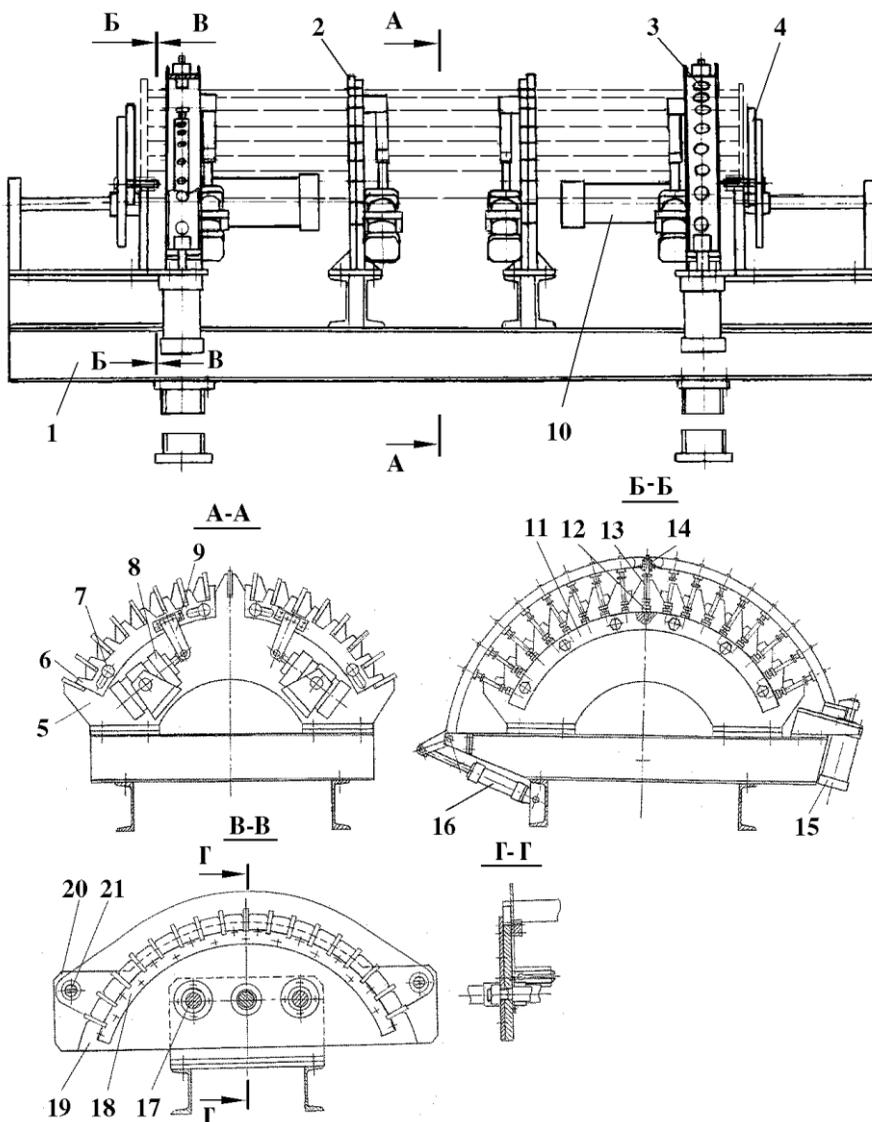


Рис. 8.27. Стенд для сборки каркаса

По длине каркаса установлены четыре гребенчатых пневматических фиксатора 2. Фиксаторы представляют собой зубчатые сегменты 5. Рабочие поверхности зубьев являются базами для фиксируемых планок изделия. Прижим планок осуществляется подвижными зубчатыми пластинами 6, перемещающи-



Оборудование и технологии сварочного производства

мися в тангенциальном направлении по двум неподвижным направляющим пальцам 7, входящим в окна пластин. Усилие прижима на пластины передаётся от двух качающихся пневматических цилиндров 8 через кронштейны 9.

Два крайних гребенчатых фиксатора максимально приближены к концам планок и несут сегменты 10, по периметру которых расположено по семнадцать регулируемых винтовых опор 11 планок каркаса подбарабанья 12. Это позволяет целенаправленно изменять форму будущей рабочей поверхности подбарабанья с учетом сварочных деформаций.

Откидные прижимы 3 служат для предотвращения случайного отхода планок от регулируемых винтовых опор и несут по семнадцать пружинных прижимов 13. Подвод и отвод откидного прижима осуществляется пневматическим цилиндром 14. Закрепление планок происходит при срабатывании пневматических замков 15.

Каретки 4, расположенные по торцам стенда, выполняют две функции: во-первых, являются ложементами и торцевыми упорами при установке планок и сборке решетки, состоящей из семнадцати планок и шести дуг; во-вторых, служат для навески и поджатия к решётке боковин с втулками. Основой каретки служит сегмент 16, по контуру которого выполнены семнадцать радиальных пазов. С одной стороны к нему прикреплена пластина 17, служащая упором для торцов планок и несущая разрезные пальцы 18, на которые устанавливают боковину с приваренными к ней втулками. С другой стороны закреплен сегмент 19 с пазами-ловителями, в которые попадают торцы планок при поджиге к ним боковины. Каретки перемещаются по направляющим скалкам 20 с помощью пневматических цилиндров 21, причем та, которую перемещает цилиндр большего диаметра, является базой при сборке каркаса.

После сборки на прихватках сварной узел передают на роботизированный комплекс, который содержит два приспособления для закрепления каркаса подбарабанья и растяжения боковин постоянной нагрузкой. Приспособление представляет собой прямоугольную раму с двумя боковыми балками. Внутри этих балок 3 (см. рис. 8.28) смонтированы нагружающие устройства.

Они представляют собой пружинно – рычажные механизмы с пневматической разгрузкой. При установке каркаса в приспособление одна втулка каждой из боковин фиксируется съёмным пальцем в неподвижном кронштейне 4, другая – в отверстиях рычага 2. Рычаг, качающийся на оси кронштейна 1, в нижней час-



Оборудование и технологии сварочного производства

ти соединён с тягой 9 поперечным пальцем. На тягу надета пружина 8, которая, предварительно сжата с помощью регулировочных гаек 5. Пружина передаёт усилие через упорный подшипник 6 и тягу на качающийся рычаг 2, что, в конечном счёте, вызывает изгиб и растяжение нижних волокон боковины каркаса. Благодаря достаточной податливости пружины (в следствие большой ее длины), в процессе сварки усилие растяжения остается практически постоянным, несмотря на увеличение расстояния между точками крепления боковины из-за температурного расширения металла боковины. Для разгрузки боковины в период установки ее в приспособление и съема используется пневматический толкатель 7.

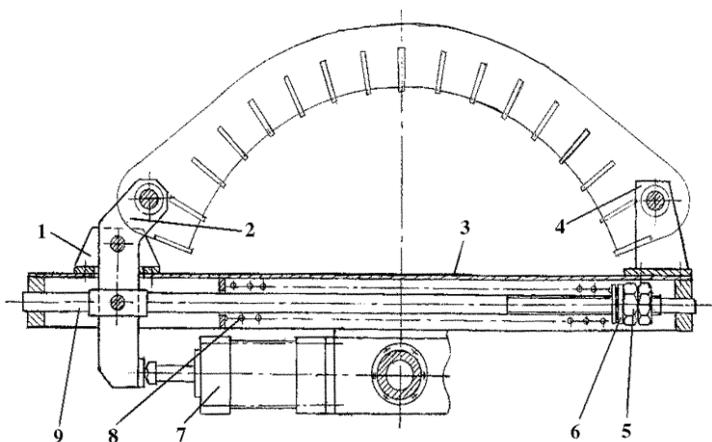


Рис. 8.28. Устройство для сварки каркаса с растяжением

Рама и закрепленные на ней с двух сторон собранные на прихватках каркасы подбарабанья размешены на позиционере роботизированного комплекса, который осуществляет поворот каркаса подбарабанья вокруг горизонтальной оси по программе на заданный угол с тем, чтобы установить места сварки в удобное положение.

Конструкция позиционера показана на (рис. 8.29). Основание 8 служит опорой для поворотной части позиционера. Обе П-образные стойки основания несут цапфы 7, в которых неподвижно закреплены концы оси 3.

Все сварные соединения планок с боковинами и рёбрами в зонах сварки располагаются горизонтально, что обеспечивает наиболее лёгкий доступ горелки робота к сварным швам и их качественное формирование.

Поочерёдная переустановка



Оборудование и технологии сварочного производства

планок в позицию сварки осуществляется пошаговым поворотной частью позиционера. После каждого поворота роботы сваривают по восемь угловых швов, расположенных только на тех планках, которые зафиксированы клиновыми пазами штока 13 (см. рис. 8.29, б).

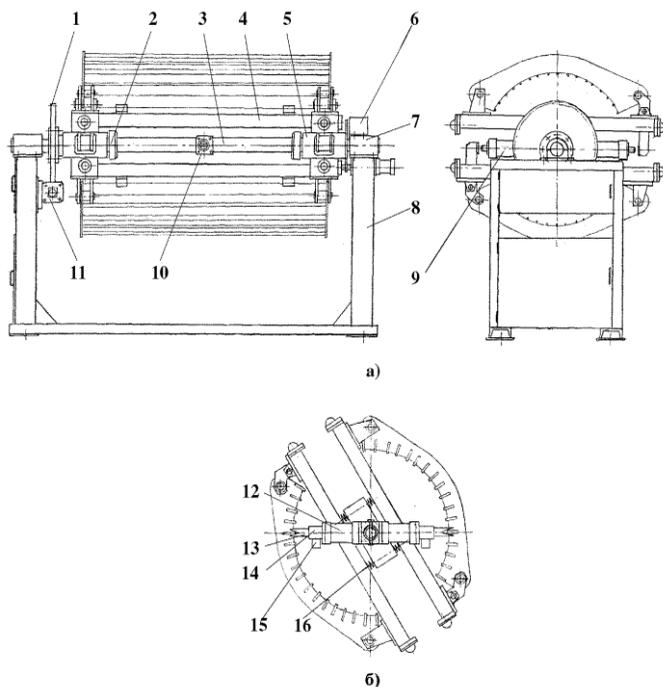


Рис. 8.29. Позиционер для роботизированной сварки каркаса

Поворотная часть позиционера состоит из двух сварочных приспособлений 4, соединённых между собой с помощью двух поворотных опор 5, вращающихся на оси.

Для поворота приспособлений на заданный угол служит храповой механизм. Его храповое колесо 1 неподвижно закреплено на одной из поворотных опор, а пневматический привод 11 – на стойке основания. Храповой механизм снабжён бесконтактными датчиками положения, сигнализирующими о начале и завершении поворота изделия на заданный угол. На противоположной стойке закреплен блок программатора 6.

Требуемая точность позиционирования свариваемых эле-



Оборудование и технологии сварочного производства

ментов обеспечивается благодаря использованию в конструкции позиционера принципа смены баз. После поворота изделия на шаг очередные свариваемые планки фиксируются в рабочем положении пневматическими фиксаторами 13, от которых зависит точность позиционирования планок в положении сварки. Принцип действия пневматических фиксаторов показан на рис. 8.29,б. Корпус 12, неподвижно закреплённый на оси позиционера, является двусторонним пневматическим цилиндром. Штоки 13 перемещаются в направляющих втулках 14 и заканчиваются клиновыми пазами, в которых фиксируются свариваемые планки при выдвигании штоков. Снизу на фиксаторах закреплены блоки бесконтактных датчиков положения штоков 15.

При такой схеме базирования влияние сварочных деформаций, а также возможных погрешностей сборки практически исключается благодаря пружинным компенсаторам 16, обеспечивающим возможность независимого перемещения каждого сварочного приспособления.

Вследствие конструктивных различий между отдельными планками каркаса количество, размеры и расположение сварных швов на многих из них различно, поэтому сварка их роботами ведётся по семи чередующимся подпрограммам. Оценка текущего состояния позиционера и выбор нужной подпрограммы на каждом шаге позиционирования система управления осуществляет с помощью электромеханического программатора, состоящего из перфорированного диска, закреплённого на поворотной опоре, и блока бесконтактных датчиков, установленных на стойке основания.

Исходным состоянием позиционера является горизонтальное расположение поворотной части, зафиксированной выдвигаемыми стопорами. Их положение система управления определяет с помощью встроенных бесконтактных датчиков.

Выгрузку и загрузку каркасов производят поочередно с помощью тельфера, каркасы фиксируют в приспособлении с помощью пальцев.

Сварку каркасов производят в автоматическом режиме в соответствии с алгоритмом, заложенным в систему управления роботизированного комплекса.

Система управления (СУ) всем комплексом оборудования на позиции роботизированной сварки каркасов построена на базе компьютера одного из сварочных роботов (ведущего №1). Робот №2 (ведомый), а также позиционер обмениваются с ним информацией и выполняют его команды. При этом робот №2 работает по



Оборудование и технологии сварочного производства

собственной рабочей программе, содержащейся в памяти его системы управления.

Датчики, установленные на позиционере, передают в СУ РТК следующую информацию:

- код, определяющий состояние позиционера и подпрограммы сварки зафиксированных планок каждым роботом;
- давление воздуха в пневматической сети;
- положение стопоров поворотной части;
- наличие растягивающего усилия в сварочных приспособлениях;
- положение толкателя храпового механизма;
- положение пневматических фиксаторов.

Кроме того, СУ контролирует нахождение роботов в исходном положении и состояние их сварочного оборудования.

Схема роботизированного сварочного комплекса показана на рис. 8.30. Комплекс включает: два сварочных робота 3 типа IR 160/15 фирмы «КУКА», имеющие антропоморфную систему координат, шесть степеней подвижности и контурную систему управления, позиционер 1 с размещенными на нем приспособлениями 2 для свариваемого узла.

Для обеспечения условий безопасного обслуживания комплекса он помещен в бокс, доступ внутрь которого возможен только в тот период, когда роботы отключены или находятся в нерабочем состоянии.

В боксе, помимо роботов и позиционера, расположены стойки системы управления роботами 4, источники питания сварочным током 5 и устройства для очистки горелок 6. С обеих сторон от позиционера в зонах его обслуживания установлены полы безопасности 7, осуществляющие остановку работы робота или блокировку его запуска в работу, если оператор находится в зоне досягаемости робота. Пульт управления 8 комплексом вынесен за его пределы и расположен со стороны стоек управления, в зоне работы оператора.



Оборудование и технологии сварочного производства

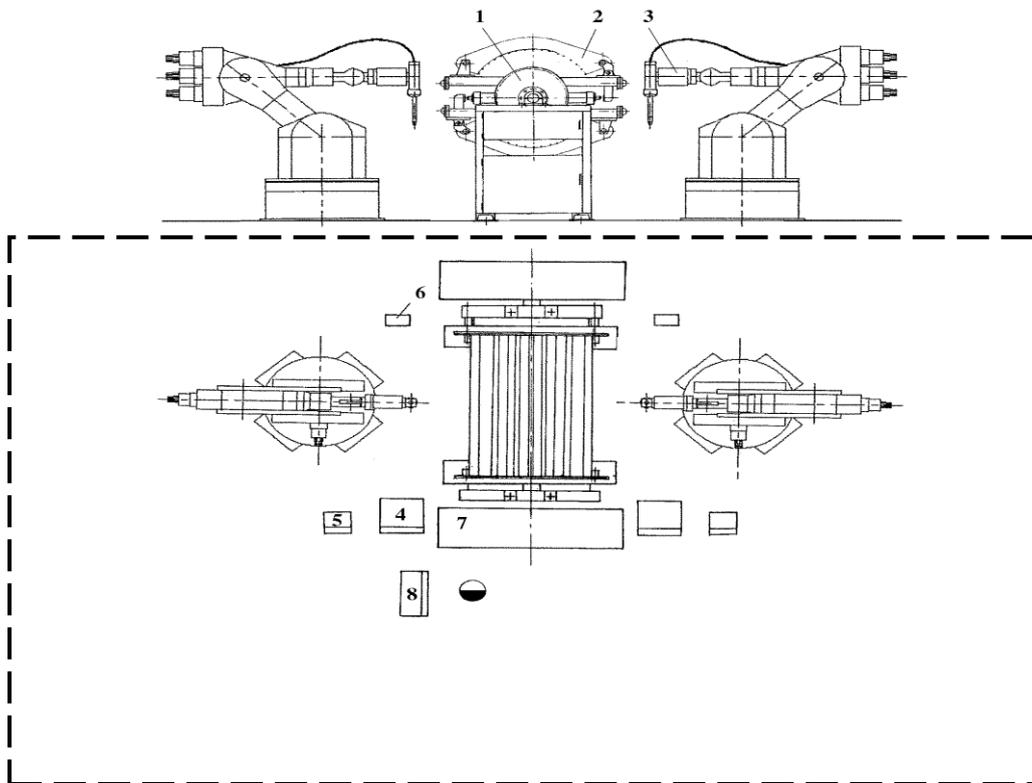


Рис. 8.30. Схема роботизированного комплекса сварки каркаса



Оборудование и технологии сварочного производства

После предварительных испытаний полный комплект оборудования РТК был смонтирован и отлажен на Урюпинском заводе «Сельхозмаш».

Суммарная длительность операций, выполняемых на РТК, при изготовлении двух каркасов составляет 137,5 минуты. Таким образом, трудоемкость сборки и сварки одного каркаса равна 68,75 минуты.

Работа РТК построена таким образом, что со временем роботизированной сварки не совмещены только транспортные операции, связанные с загрузкой и выгрузкой изделий на позиционере, причем в этих операциях задействованы оба работника, обслуживающих РТК.

Роботизированный сборочно-сварочный комплекс включает в себя три рабочие позиции (рис. 8.31), объединенные межоперационным транспортным устройством: сборки (I); роботизированной сварки (II); контроля и исправления брака (III).

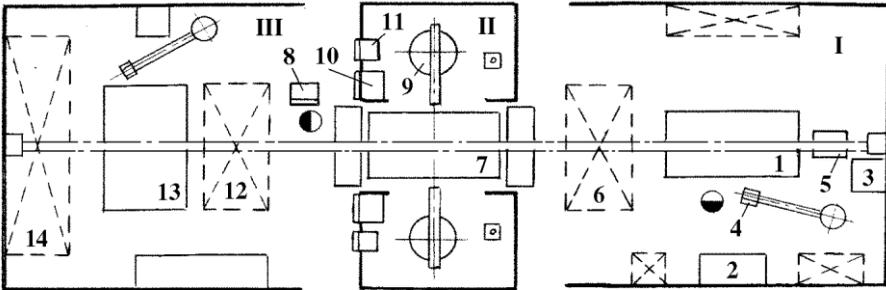


Рис. 8.31. Схема размещения оборудования РТК

Между позициями РТК предусмотрены накопители.

Сборку каркаса на прихватках осуществляет сборщик в сварочной кабине на стенде 1. Здесь же, в приспособлении 2 он предварительно приваривает втулки к боковинам швами, недоступными для горелки робота. Сварку и прихватку производят полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа, для чего кабина оборудована сварочным постом 3 и консолью для подающего механизма 4. Собранный каркас с помощью тельфера 5 складывают в накопитель 6 или передают на позицию роботизированной сварки, где сборщик вместе с оператором устанавливает и фиксирует каркас на первом приспособлении позиционера 7, находящегося в положении загрузки. Затем после кантовки поворотной части на 180° они загружают второй каркас.

После этого оператор с пульта управления 8 включает автоматический цикл сварки, и оба робота 9 одновременно производят сварку двух каркасов. Стойки управления роботами 10 и источники сварочного тока 11 встроены в кабины и лицевыми панелями обращены к оператору.



ру.

По завершении сварки позиционер переводит приспособления в горизонтальное положение. Оператор вместе со сборщиком снимает сваренный узел и устанавливает на его место новый собранный. Позиционер кантует раму с приспособлениями на 180° , и производится перезарядка второго приспособления. Цикл сварки повторяется.

Сваренные каркасы оператор с помощью тельфера подает в накопитель 12 или на место контроля 13. Здесь за время работы роботов оператор выполняет оставшиеся сварные швы, осматривает каркасы, исправляет брак после роботизированной сварки и контролирует шаблонами межцентровые расстояния на боковинах и радиус рабочей поверхности каркаса. Готовые каркасы складывают на месте 14.

Трудоёмкость изготовления каркаса подбарабаша на РТК составляет 1,1 чел/ч, что в 2,4 раза меньше, чем при его изготовлении с помощью механизированной сварки в среде углекислого газа. Трудоёмкость снизилась за счёт:

- более быстрого перемещения горелки робота от шва к шву;
- стабильного выполнения номинальных размеров сварных швов с отклонением в сторону нижнего предела поля допуска ($5_{-0,5}$ мм), тогда как при полуавтоматической сварке швы, как правило, выполняются с завышением номинального размера ($5^{+1,0}$ мм);
- уменьшения непроизводительных потерь времени.

Хронометраж работы РТК показал, что при такте выпуска изделий 33 минуты элементы цикла изготовления каркаса в процентном отношении соотносятся следующим образом:

- установка и съём изделия - 6,3%;
- кантовки изделия - 5,5%;
- перемещения горелки к местам сварки и зачистка мундштука - 17,2%;
- горение дуги - 71%.

Время подналадки и обслуживания оборудования РТК составляет в среднем 15%.

Достаточно высокая производительность РТК (14 каркасов в одну смену) достигнута в основном за счёт рационального совмещения во времени основных и вспомогательных операций.

9. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ,



ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

9.1. Лазерные технологии в машиностроении

Традиционно используемые в машиностроении технологии сварки плавлением из-за недостаточной плотности энергии не обеспечивают глубокого проплавления металла, вследствие чего при сварке металла больших толщин, обычно более 5 мм, требуется выполнять скос свариваемых кромок, что приводит к необходимости наплавлять большой объем металла. Это ведет к снижению производительности сварки и, как правило, к появлению больших остаточных деформаций.

В отличие от дуговых методов сварки, при лазерной сварке удается достичь значительно большей плотности энергии, что обуславливает более эффективное использование введенной энергии для расплавления металла и образования соединения. В следствие этого появляется возможность увеличения скорости и наблюдается существенное уменьшения сварочных деформаций.

Существует две технологии лазерной сварки – сварка за счет нагрева и сварка с глубоким проплавлением за счет образования паро-газового канала.

В первом случае плавление металла происходит в поверхностном слое глубиной несколько десятых долей миллиметра. Этот способ применяется для соединения тонких деталей в приборостроении и медицинской технике, а также при выполнении наплавки, когда требуется обеспечить минимальное перемешивание основного и наплавляемого металла.

Для этой технологии используют импульсные твердотельные Nd:YAG лазеры, а наплавку выполняют расфокусированным лучом.

При увеличении плотности энергии выше порогового значения 10^6 Вт/см² металл не только плавится, но и испаряется. Давление паров металла становится столь большим, что в свариваемом металле формирует паровой канал, получивший название «замочная скважина», окруженный расплавленным металлом. Глубина проплавления резко возрастает и может достигать нескольких миллиметров.

Перемещаясь вместе с лазерным лучом, жидкий металл, окружающий паровой канал перемешивается и затвердевает, образуя узкий шов. Металл сварного шва обычно защищают от окисления инертным газом.



Оборудование и технологии сварочного производства

Схемы лазерной сварки представлена на рис. 9.1.

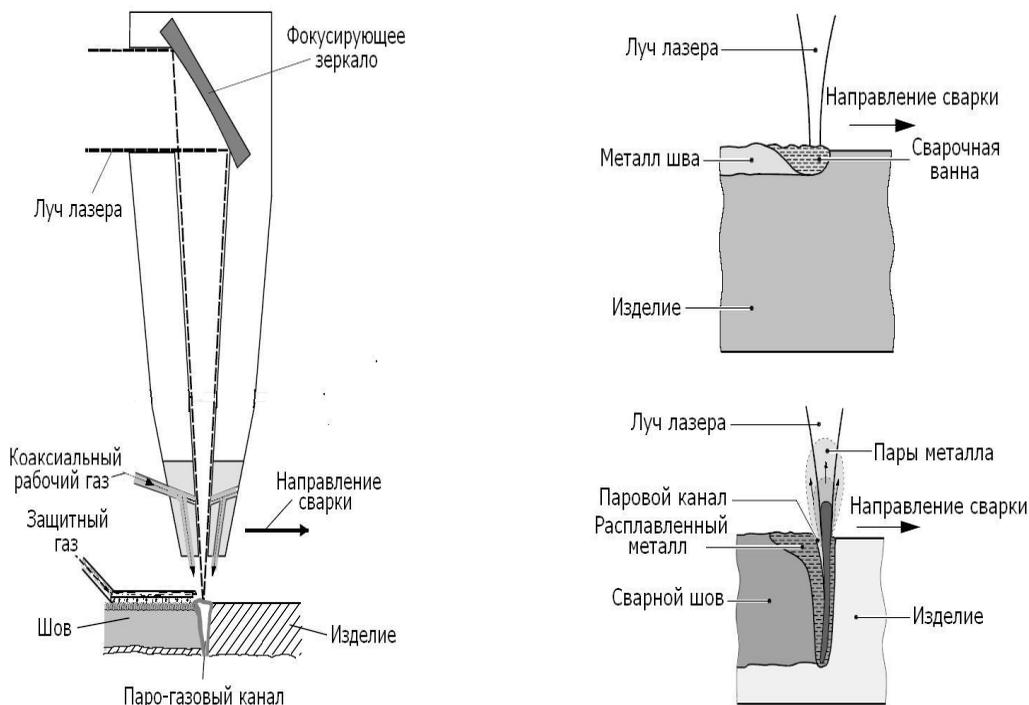


Рис. 9.1. Схемы лазерной сварки: а – общая схема сварки; б – проплавление при плотности энергии менее 10^6 Вт/см²; в – проплавление при плотности энергии более 10^6 Вт/см².

При плотности вводимой энергии ниже критической величины мощность лазерного излучения незначительно влияет на глубину проплавления металла. После превышения порогового 10^6 Вт/см² значения глубина проплавления зависит от мощности лазерного источника тепла, скорости его перемещения и вида свариваемого материала (рис. 9.2).

На том же рисунке отмечены уровни максимальной скорости автоматической сварки под флюсом, позволяющие получить хорошее формирование шва: для одnodугового процесса (I), двухдугового (II) и трехдугового (III).

Можно видеть, что современные лазеры позволяют производить сварку со скоростью в 3...5 раз, а в некоторых случаях на порядок, превосходящей скорость традиционных методов



Оборудование и технологии сварочного производства

сварки. Но дело не только в скорости сварки. При дуговой сварке максимальная глубина проплавления не превышает 14 – 15 мм. При этом приходится вводить в сварное соединение значительно большее количество тепла, чем при лазерной сварке.

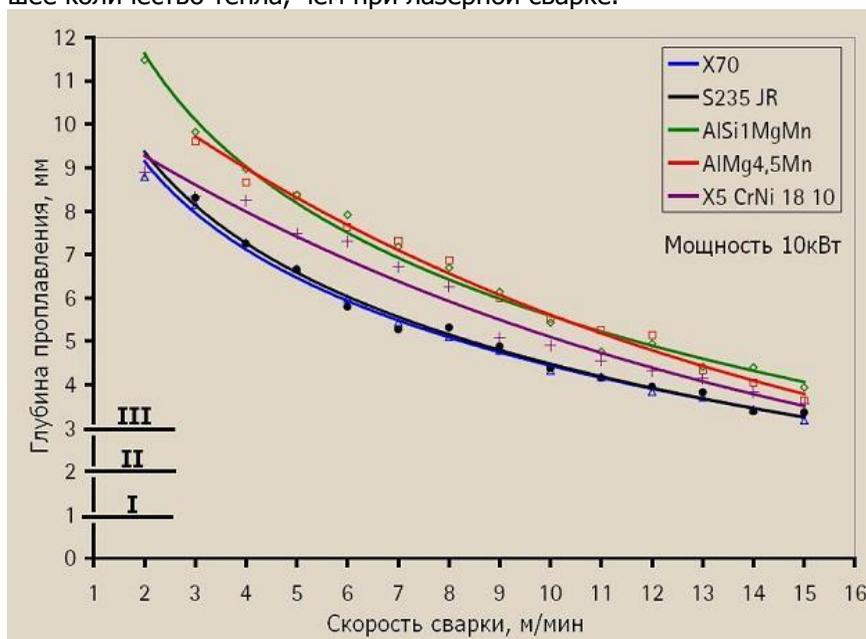


Рис. 9.2. Влияние скорости сварки на глубину проплавления (мощность лазерного источника 10кВт)

Появление твердотельных лазеров большой мощности, полупроводниковых и, особенно, волоконных лазеров, размеры которых существенно меньше используемых ранее CO₂ – лазеров, коэффициент полезного действия на порядок выше, значительно расширяет конкурентную область применения лазерной сварки.

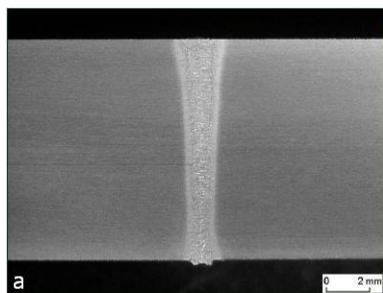
Так, например, фирма IPG Laser GmbH (Германия) выпустила волоконный лазер мощностью 10,4 кВт, позволяющий достичь плотности мощности 30 МВт/см². Излучение доставляется по волоконному кабелю длиной 50 м. Все узлы, включая волоконные модули, блоки питания и систему управления размещены в единой стойке с размером по основанию 148x98 см. Полный КПД лазера превышает 25%.

С помощью лазерной сварки можно выполнять стыковые и



Оборудование и технологии сварочного производства

угловые швы, нахлесточные проплавные соединения, в том числе многослойные. Примеры сварных соединений, выполненных лазерной сваркой с глубоким проплавлением показаны на рис. 9.3.



Мощность - 10 кВт
Скорость сварки - 2,2 м/мин
Толщина - 11,2 мм Сталь - X70



Оцинкованная сталь
Толщина - 1,5+1,5 мм
Мощность - 6,9 кВт
Скорость сварки - 9 м/мин

Рис. 9.3. Стыковые и нахлесточные (проплавные) соединения, выполненные лазерной сваркой

Следует обратить особое внимание на возможность выполнения проплавных соединений. Во многих случаях, в частности в автомобильной промышленности, они успешно конкурируют с контактной сваркой. Лазерная сварка обеспечивает большую производительность, не требует доступности к сварному соединению с двух сторон, не оказывает силового воздействия на соединяемые детали, позволяет соединять детали из алюминиевых сплавов, а также стальные с цинковым покрытием. По сравнению с контактной сваркой лазерная вызывает значительно меньшие остаточные сварочные деформации, что сокращает трудоемкость последующей обработки конструкции и улучшает ее внешний вид.

Именно благодаря этим преимуществам ведущие производители легковых автомобилей, такие как Audi, Volkswagen, BMW, Renault и др., широко используют лазерную сварку для соединения деталей корпуса автомобиля, особенно деталей из алюминиевых сплавов. Пример лазерной сварки корпуса автомобиля BMW 6 из алюминиевых сплавов и детали защитного кожуха этого же автомобиля показаны на рис. 9.4.

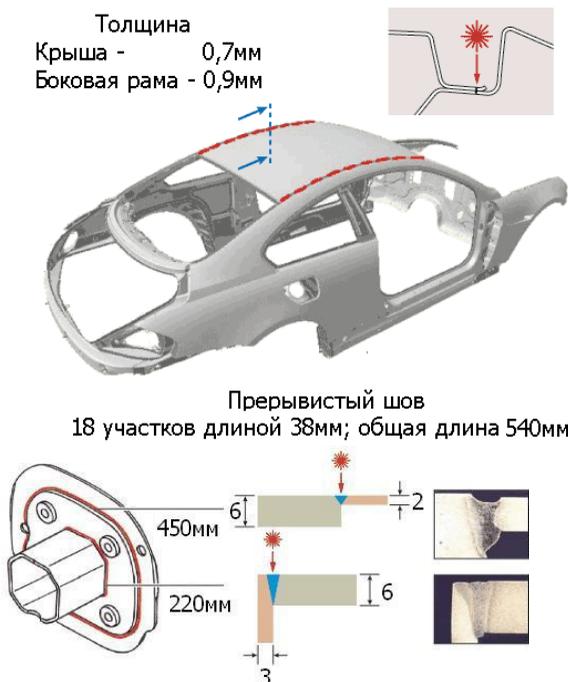


Рис. 9.4. Сварной корпус автомобиля BMW 6 и детали кузова

Помимо повышения производительности, лазерная сварка позволила уменьшить величину нахлестки с 16 мм для контактной сварки до 8 мм при лазерной. Открывшаяся возможность соединять детали проплавными швами с односторонним подводом энергии позволила изменить профиль соединяемых деталей с целью увеличения их жесткости, а в случае использования алюминиевых сплавов позволила применить технологию экструдирования для получения тонкостенных замкнутых профилей.

На рис. 9.5 показаны примеры изменения конструкции соединяемых деталей корпуса легкового автомобиля при переходе от контактной сварки к лазерной. Соединения, выполненные проплавлением верхнего листа, открывают широкие возможности для создания жестких ортотропных панелей (сэндвич панелей), работающих на изгиб (рис. 9.6.).

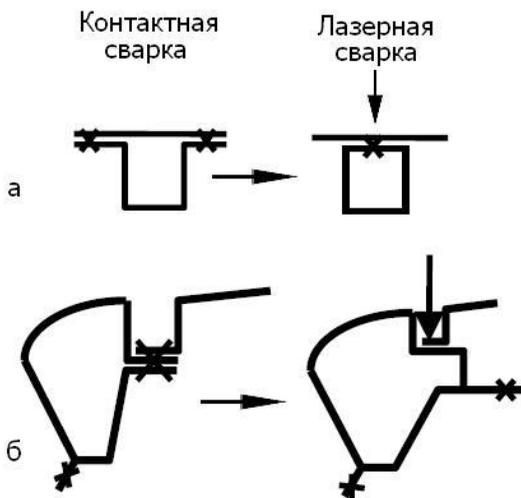


Рис.9.7. Панель, изготовленная лазерной сваркой с проплавлением наружных листов

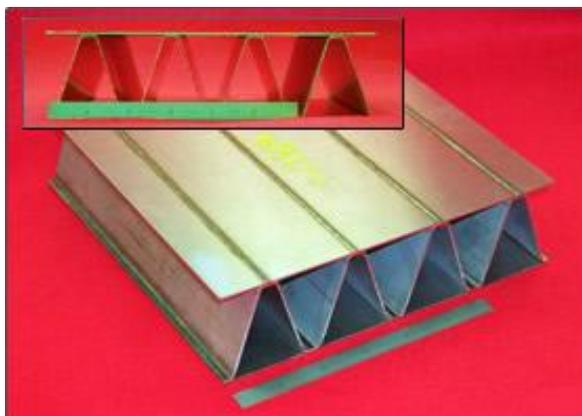


Рис.9.6. Конструкция соединения деталей пола автомобиля (а) и крыши с боковиной (б) при контактной и лазерной сварке

При выполнении соединений их тонкостенного металла, вследствие недостаточной жесткости кромки нахлестки возможно образование недопустимо большого зазора между деталями. Для его устранения сварочную головку необходимо снабдить роликом,



Оборудование и технологии сварочного производства

который, двигаясь впереди лазерного луча, прижимает свариваемые кромки друг к другу (рис. 9.8). Такую технологию рекомендуется применять, если толщина верхнего листа не превышает 1,5мм. При большей толщине возрастает требуемое усилие прижатия и ролик может деформировать кузов автомобиля. Благодаря развитию волоконной оптики лазерная сварка хорошо поддается роботизации.

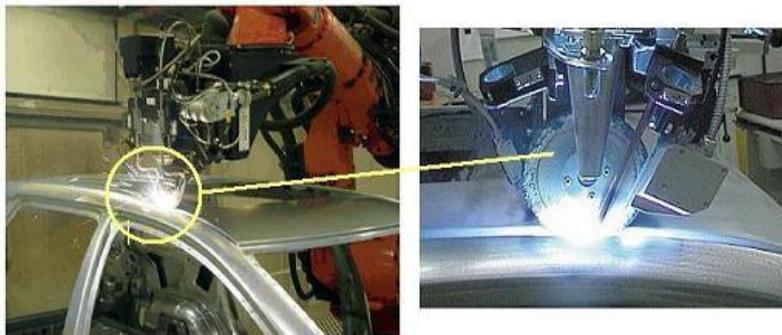


Рис. 9.8. Лазерная сварка крыши автомобиля. Ролик, двигаясь впереди лазера, устраняет зазор между деталями.

Лазерная сварка с проплавлением верхнего листа находит применение для выполнения тавровых соединений, когда доступ к соединению со стороны присоединяемой детали, например, при изготовлении сэндвич панелей, затруднен. Однако вследствие того, что при лазерной сварке образуются узкие швы, в тавровом соединении возможно образование непроваров. Для предотвращения появления таких дефектов рекомендуется выполнять поперечные колебания лазерного луча за счет колебания фокусирующего зеркала (рис. 9.9). Этот способ получил название Double focus welding.



Рис. 9.9. Лазерная сварка таврового соединения путем проплавления поясного листа



Оборудование и технологии сварочного производства

В тех случаях, когда сэндвич панель предназначена для работы на сжатие, а изгибная составляющая невелика, для повышения производительности сварки протяженные швы можно заменить проплавными прерывистыми или точечными швами по типу электрозаклепочного соединения. В качестве примера на рис.9.10 показана боковина железнодорожного вагона, которая выполнена в виде сэндвич панели.

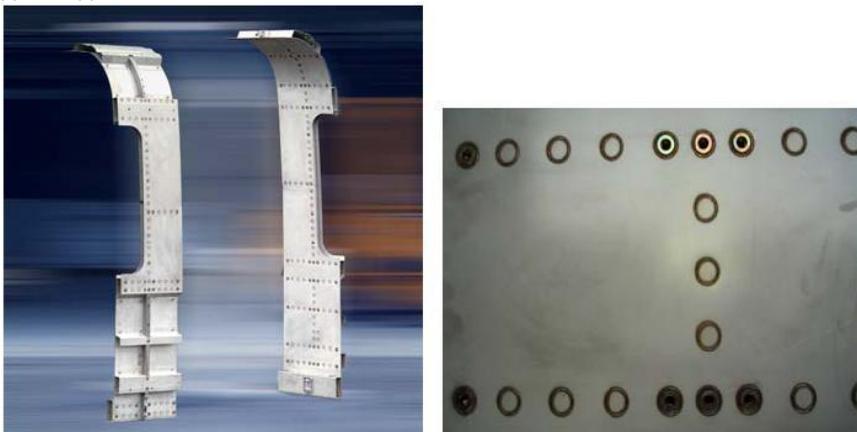


Рис. 9.10. Панель боковины железнодорожного вагона. Проплавные точечные швы выполнены лазерной сваркой.

Основная нагрузка, действующая на сварные соединения, обусловлена изгибающим моментом в плоскости панели. Поэтому сварные швы фактически являются связующими и сила среза, действующая на них невелика. Вместе с тем, необходимо принимать во внимание вибрационные нагрузки, которые вследствие высокой концентрации напряжений в районе соединения могут вызвать их разрушение. В таких случаях рекомендуется выполнять комбинированное соединение и лазерные швы дополнять заклепочным соединением.

Пример комбинированного соединения приведен на рис.9.11.

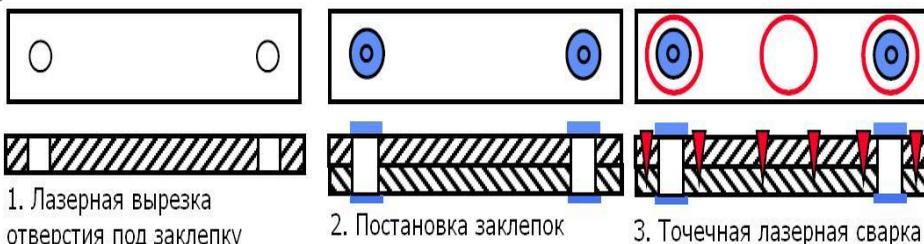


Рис. 9.11. Пример последовательности выполнения комбинированного соединения.

Следует обратить внимание, что благодаря большой гибкости технологии лазерной сварки сварные прерывистые швы могут иметь практически любую конфигурацию. В частном примере они имеют форму кругового кольца, что увеличивает их прочность на срез. В зависимости от направления действующей нагрузки шов может иметь вытянутую форму.

Такие соединения имеют преимущества перед швами, выполненными контактной сваркой, не только по производительности, но и по прочности.

При обосновании выбора лазерной сварки для изготовления сварных конструкций в машиностроении необходимо учитывать следующие преимущества способа сварки с глубоким проплавлением:

- Высокая производительность сварки при хорошем качестве сварных соединений;
- Возможность сварки деталей относительно большой толщины за один проход без разделки кромок;
- Низкая погонная энергия, но высокая концентрация вводимой энергии обеспечивает сочетание глубокого проплавления и низкий уровень остаточных деформаций;
- Отсутствие механического воздействия оборудования и процесса сварки на свариваемые детали;
- Широкие возможности соединения разнообразных конструкционных материалов;
- Отсутствие расходов на присадочные материалы при сварке достаточно толстостенных конструкций;
- Как правило, не требуется обработка сварного соединения после сварки.

Таким образом, лазерная сварка имеет преимущество в тех областях, где ограничен доступ к соединению, где скорость сварки является критическим параметром с точки зрения производительности.



сти и где тепловложение должно быть сведено к минимуму и точно регулироваться для предотвращения появления больших сварочных деформаций.

Вместе с этим существуют определенные трудности в практическом применении лазерной сварки при изготовлении крупногабаритных конструкций, которые необходимо учитывать при обосновании выбора технологии сварки. К ним относятся следующие:

- Так как при лазерной сварке расплавляется малый объем металла, а сварку производят без присадочной проволоки, этот способ критичен к величине зазора между свариваемыми кромками. Зазор не должен превышать 0,1...0,2мм. Для качественного формирования шва необходимо предъявлять высокие требования к качеству подготовки кромок и сборке под сварку.

- Низкий электрический КПД установок для лазерной сварке, например, для CO₂ лазеров – 2 %; для твердотельных Nd:YAG лазеров – 10 %; для полупроводниковых несколько выше. Следует отметить хорошую перспективу развития лазерной техники. В последние года появились промышленные лазеры с высоким КПД, достигающим 25% мощностью до 10, а в перспективе до 25кВт.

- В результате сварки толстостенных конструкций на малой погонной энергии в некоторых случаях могут появиться проблемы. Связанные с высокой скоростью охлаждения сварного шва, например, при сварке закаливающих сталей возможно образование трещин. Вместе с тем высокая скорость кристаллизации металла шва способствует образованию мелкой структуры, что способствует повышению пластичности металла шва.

- Высокая стоимость оборудования и его эксплуатации.

Из названных проблем наиболее серьезной следует считать первую.

При изготовлении крупногабаритных конструкций обеспечить требуемую точность изготовления заготовок и их сборки либо невозможно, либо экономически невыгодно.

Очевидно, что выходом из этого положения может быть добавление в сварочную ванну присадочной проволоки, как это делают при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом, но эксперименты показали, что на расплавление присадочной проволоки требуется слишком много тепла и нормальное течение процесса лазерной сварки с глубоким проплавлением нарушается.

В связи с этим развития технологий лазерной сварки пошло по пути совмещения процессов сварки плавлением разного вида,



Оборудование и технологии сварочного производства

например, лазерная + дуговая, лазерная + плазменная. Такое совмещение процессов получило название «**гибридной сварки**».

При лазерной гибридной сварке два источника тепла: лазерный луч и дуга, обычно используют дуговую сварку плавящимся электродом в инертных или активных газах (MIG/MAG), одновременно воздействуют на одну сварочную ванну (рис. 9.12).

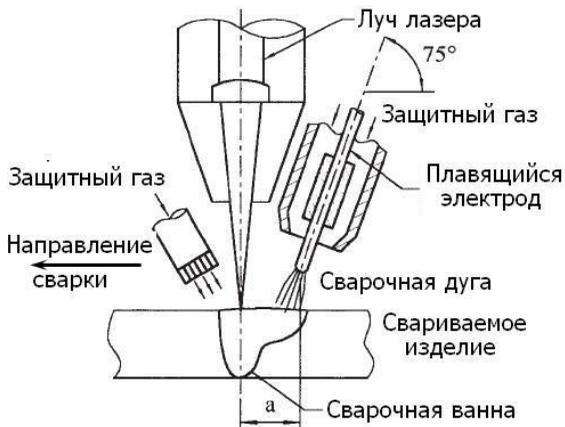


Рис. 9.12. Схема гибридной лазерной сварки и фотография сварочной головки.

При комбинировании процессов можно получить ряд преимуществ как по отношению к одному процессу, так и по отношению к другому: быстрдействие, глубокое проплавление, возможность выполнения однопроходной сварки при толщине металла и скорости сварки, значительно превышающих возможности дуговых методов сварки (рис.9.13) и, что особенно важно, гибридный процесс допускает сборку деталей со значительно большим, до 1,5 мм,



зазором.

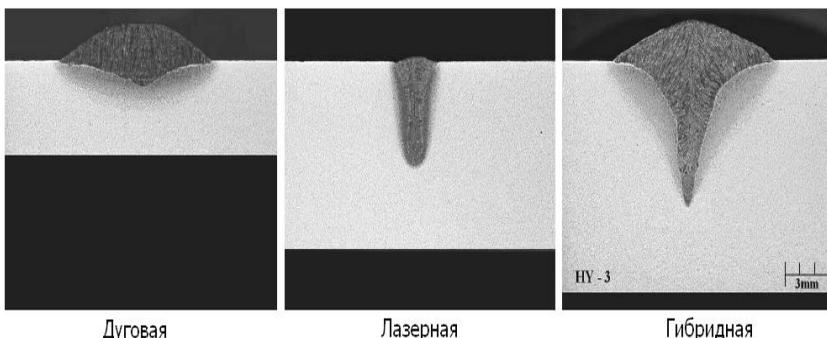
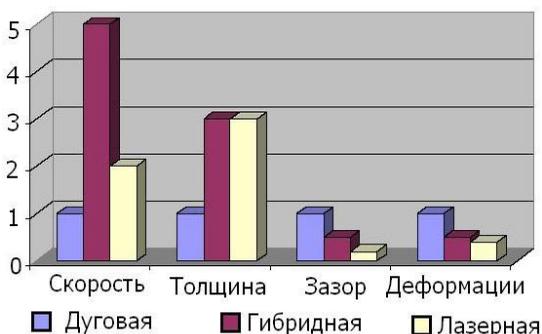


Рис. 9.13. Сопоставление формы сечения шва при трех способах сварки.

Скорость сварки во всех трех случаях одинаковая.

Приведенное на рис.9.14 сопоставление технологических характеристик трех способов сварки показывает, что гибридная сварка по многим показателям превосходит дуговую сварку в защитных газах и в ряде случаев улучшает характеристики «чистой» лазерной сварки, что обеспечивает преимущество гибридной сварки в тех сферах, где высокий ввод тепла может привести к деформации или неблагоприятному изменению микроструктуры стали. Как удачно выразился сотрудник ESAB Kari Lahti, Один + Один больше, чем Два!²⁴



²⁴ EriK Lahti, One + one is more than two! Laser hybrid welding combines the advantages of laser- and MAG welding. The ESAB welding and cutting journal vol. 58, no.2, pp 22-24, 2003.



Рис. 9.14. Сопоставление технологических характеристик трех способов сварки.

В настоящее время в промышленно развитых странах применение гибридной сварки интенсивно расширяется в автомобильной промышленности, судостроительной, авиационно-космической, энергетическом машиностроении при изготовлении сварных труб и монтаже трубопроводов.

Этот процесс становится привлекательным для областей, где точность подготовки кромок – дорогостоящий процесс. Процесс сварки может выполняться с одной стороны за один проход без подкладки.

Лазерная гибридная сварка находит применение там, где необходимо получить плоскостность и отсутствие искривления осей сварной конструкции без применения операций правки, например, крановые и мостовые конструкции.

Низкое тепловложение, характерное для гибридной сварки, может быть привлекательным при изготовлении конструкций из материалов, чувствительных к нагреву, для сохранения микроструктуры. Дуплексные коррозионностойкие и высокопрочные стали, титановые и алюминиевые сплавы – подходящие прикладные области для лазерной гибридной сварки.

При использовании только процесса лазерной сварки высокие скорости охлаждения обычно приводят к растрескиванию глубоких и узких сварных швов, что не допускает использование этого процесса для сварки некоторых конструкционных материалов. Гибридная лазерная сварка позволяет предотвратить растрескивание путем легирования сварного шва через присадочный материал.

Существенным достоинством гибридной сварки является то, что при правильно выбранных параметрах MIG/MAG сварки форма валика шва получается гладкой, с плавным переходом к основному металлу. Это одно из основных условий качества сварного соединения в областях, где важно обеспечить усталостную прочность при проектировании и продлении срока службы конструкций.

Гибридная сварка может выполняться во всех пространственных положениях, но формирование шва при сварке в нижнем положении дает лучшие результаты.

Для сварки длинных швов или швов сложной конфигурации рекомендуется использовать на горелке интегрированные следящие системы. Это гарантирует правильное расположение сварочной ванны при лазерной гибридной сварке и способствует оптимизации условий сварки. Это также и очень важный фактор при подготовке соединения. Большой допуск экономически выгоден при подготовке



Оборудование и технологии сварочного производства

соединения под сварку. При использовании следящей системы кислородная или плазменная процессы резки могут быть альтернативой механической обработке при подготовке деталей к сварке.

Пример сварочной головки, оснащенной следящей системой представлен на рис. 9.15.

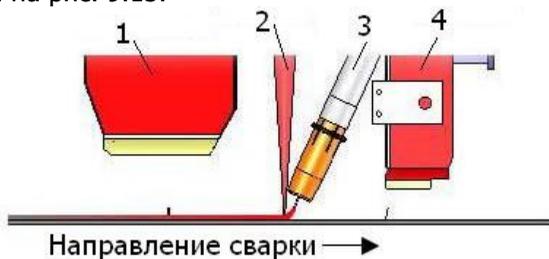


Рис. 9.15. Следящая система

Датчик слежения за стыком 4 расположен перед сварочной головкой, включающей оптический кабель или зеркало, которые направляют лазерный луч 2 и горелку, подающую плавящийся электрод 3. Вслед за стыком перемещается сканирующая камера 1, которая осуществляет визуальный контроль шва.

В настоящее время основная область индустриального применения гибридной лазерной сварки сегодня – автомобильная промышленность, где прогресс производства и конкурентная борьба подталкивают к использованию высокоскоростных и эффективных процессов соединения материалов.

В автомобильной промышленности есть две основные движущие силы для использования лазерной гибридной сварки: алюминиевые кузова автомобилей и необходимость увеличения допуска на зазор, по сравнению с лазерной сваркой. Лазерная гибридная сварка алюминия позволяет снизить ввод тепла при получении гладкого сварного шва. Высокая плотность энергии лазерного луча облегчает возможность достижения температуры сварки, несмотря на высокую теплопроводность алюминия.

В судостроительной промышленности, где сварочные деформации являются постоянной проблемой, лазерная гибридная сварка является хорошей альтернативой обычным дуговым процессам сварки.

По оценкам специалистов использование лазерной гибридной сварки при постройке судов позволяет снизить трудозатраты (в человеко-часах) на 20...30% в результате уменьшения трудоемкости исправления сварочных деформаций.

В настоящее время на нескольких европейских верфях используют этот процесс сварки.



Оборудование и технологии сварочного производства

Благодаря значительным достижениям лазерной техники и оптоволоконных технологий в последние годы появилась возможность, используя мощные волоконные лазеры с коротковолновым излучением, транспортировать энергию лазерного луча через тонкие оптические волокна на расстояние 25...50м, что обеспечивает хорошую маневренность для сварочного инструмента, вплоть до ручного управления процессом сварки.

В этом отношении представляет интерес рассмотреть разработанные в SLV Mecklenburg-Vorpommern GmbH (г.Росток, Германия) для судостроительной промышленности технологии лазерной сварки.

Для лазерной гибридной сварки стыковых и угловых швов сварочная головка размещается на тележке типа сварочного трактора (рис.9.16), перемещающегося по направляющим. В качестве источника лазерного излучения используется 10 кВт волоконный лазер с подводом энергии луча с помощью оптоволоконного кабеля. Мобильный блок, содержащий волоконный лазер и систему управления, имеет размеры 4,6х2,2х2 м и весит 3000кг. В качестве компонента дуговой сварки использовался полуавтомат Fronius TPS 9000, смонтированный на той же тележке.



Рис. 9.16. Лазерная гибридная сварка по типу сварочного трактора. (Конструкция SLV Mecklenburg-Vorpommern GmbH, г.Росток, Германия)

На рис.9.17 показаны примеры выполнения полотнищ толщиной 10мм за один проход со стыковыми и тавровыми соединениями сварочным трактором с головкой для лазерной гибридной сварки. Отмечается, что подготовка деталей под сварку производи-



Оборудование и технологии сварочного производства

лась плазменной резкой. Скорость сварки превышала 1,5 м/мин.

Практический интерес вызывает ручная сварочная головка для выполнения коротких швов, длиной 150...250 мм с помощью лазерной гибридной сварки (рис.9.18).

Корпус ручной сварочной установки 1 ориентируют в ручную вдоль линии соединения деталей и включают источник энергии. Одновременно с началом процесса сварки сварочная головка 2 начинает перемещаться по направляющим вдоль стыка, выполняя шов заданной длины.

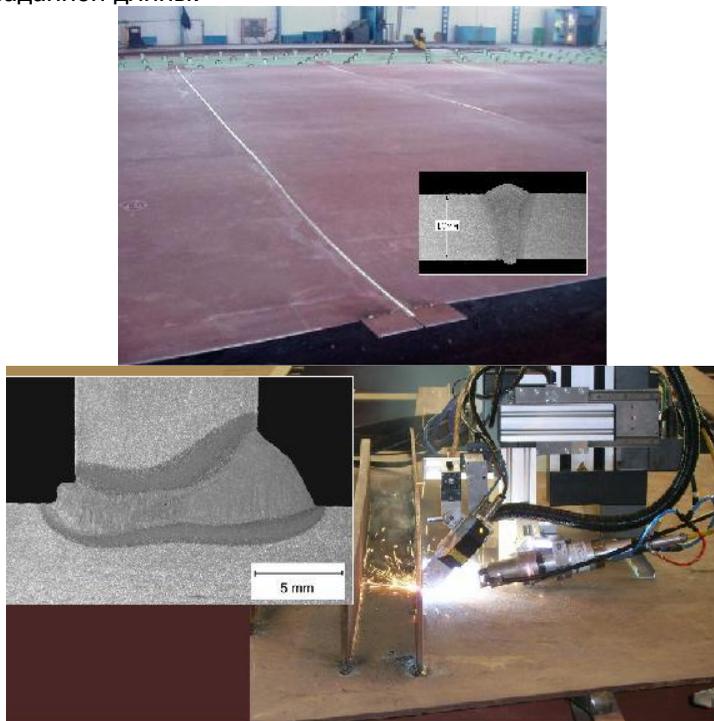


Рис. 9.17. Пример лазерной гибридной сварки полотниц на судостроительной верфи.

(А. Sumpf, U. Jasnau, SLV Mecklenburg-Vorpommern GmbH, г.Росток, Германия)

Очевидно, что применительно к сварке крупногабаритных сварных конструкций, характерных для судостроения, когда точное автоматическое позиционирование сварочной головки относительно шва затруднено относительно невысокой точностью заготовок, применение сварочного трактора и ручных установок следует считать удачным решением.

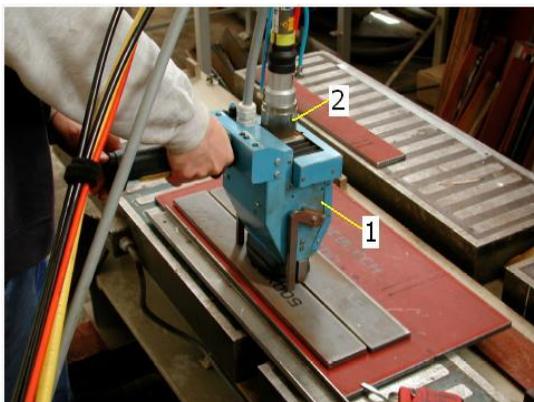


Рис. 9.18. Ручная установка для лазерной гибридной сварки коротких швов.

(A. Sumpf, U. Jasnau, SLV Mecklenburg-Vorpommern GmbH, г.Росток, Германия)

Не смотря на очевидные преимущества лазерной гибридной технологии, ее практическое внедрение в производство развивается недостаточно интенсивно. Возможные причины этого состоят в следующем: высокие начальные капитальные вложения и сложность процесса из-за большого числа параметров, влияющих на его ход. Установка необходимых значений параметров процесса требует высокой степени умения и тщательности, все это в совокупности с неполным знанием процесса сдерживает быстрое внедрение лазерной гибридной технологии сварки в промышленность.

Лазерная наплавка.

Лазерный луч с плотностью энергии менее 10^6Вт/см^2 представляет собой весьма перспективный источник нагрева для выполнения наплавочных работ, поскольку вследствие малой глубины проплавления детали практически исключает перемешивание основного и наплавляемого металла, что обеспечивает благоприятные условия для соединения разнородных материалов.

Для того чтобы улучшить формирование наплавляемого слоя предпочтение отдают использованию порошкового присадочного материала. Возможны две схемы наплавки:

- на поверхность детали предварительно наносят слой наплавляемого металла, например, гальваническим путем или путем напыления и затем производят оплавление поверхности детали лазерным лучом,



Оборудование и технологии сварочного производства

- в процессе оплавления детали в ванну расплавленного металла подают наплавляемый материал в виде порошка через каналы, расположенные коаксиально лучу лазера.

Наплавка по второму варианту технологии показана в виде схемы на рис.9.19.

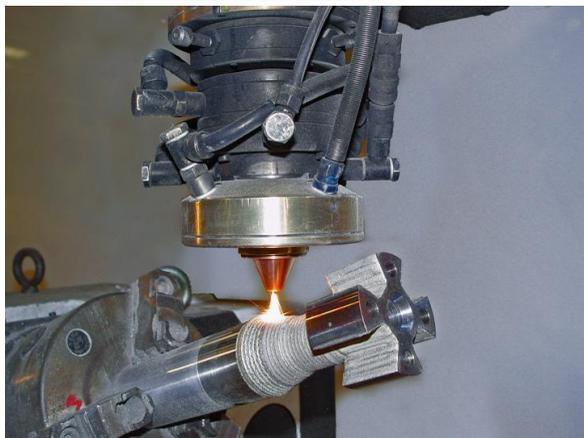
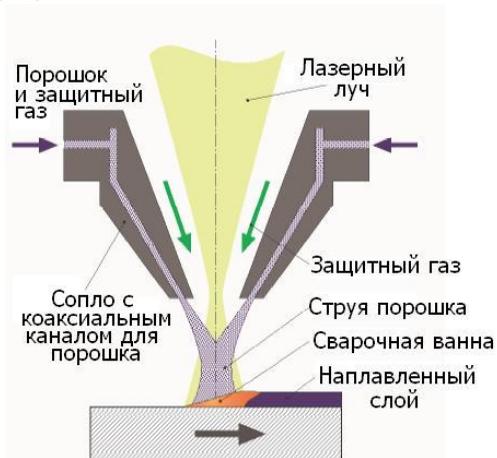


Рис. 9.19. Схема лазерной наплавки с коаксиальной подачей порошка и фотография головки для лазерной наплавки

Эта технология может быть применена как для нанесения покрытий или слоев из металла со специальными свойствами на новые детали, так и для восстановления поврежденных поверхностей в целях ремонта или восстановления размера.

Лазерная наплавка достаточно гибкая технология. Она позволяет использовать присадочный материал не только в виде по-



рошка, но и в виде проволоки.

Глубина зоны сплавления основного и присадочного материала колеблется от 0,1 мм до нескольких миллиметров.

В результате очень низкой погонной энергии при лазерной наплавке происходит чрезвычайно малое перемешивание наплавляемого металла с основным, резко сокращается размер зоны термического влияния и сварочные деформации. Так же снижается опасность роста зерна в околошовной зоне, в сравнении с другими процессами металл наплавленного слоя имеет мелкозернистую структуру, большую твердость и коррозионную стойкость.

Благодаря отсутствию перемешивания даже при однослойной наплавке удается обеспечить свойства поверхности на уровне свойств наплавляемого металла. Процесс лазерной наплавки хорошо поддается управлению, что обеспечивает возможность выборочно наплавлять отдельные участки поверхности деталей по заданной программе (рис.9.20). Могут быть получены однородные слои с относительно гладкой поверхностью. Лазерная наплавка позволяет наплавлять слои шириной менее 0,5мм, но при наплавке больших поверхностей ширина слоя составляет 5...25мм. Толщина слоя может быть переменной от 0,1мм до 2..3мм в пределах одного шага наплавки.

Типичные области применения лазерной наплавки: клапаны, детали насосов, лопатки турбин, шаблоны, прессформы, инструменты, ролики, кривошипные и распределительные валы, зубчатые передачи, лезвия режущего инструмента.

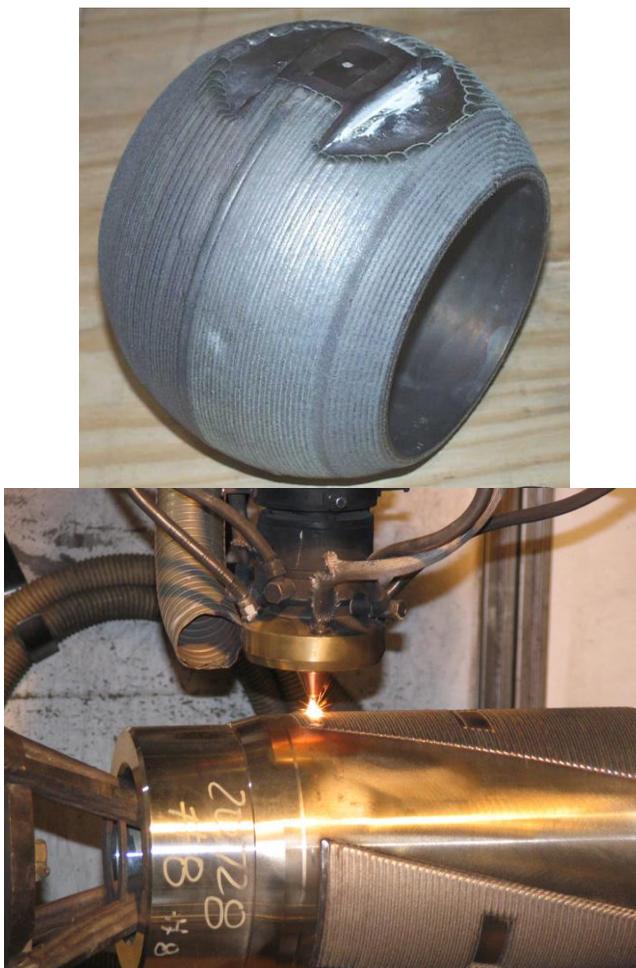


Рис. 9.20. Выборочная наплавка поверхности шарового крана и перепускного клапана.

9.2. Применение сварки трением с перемешиванием при изготовлении сварных конструкций

Способ сварки трением с перемешиванием (Friction Stir Welding (FSW)) является самым молодым и интенсивно развивающимся технологическим процессом. Изобретенный в 1991 году и запатентованный Институтом сварки Англии (TWI), он уже получил широкое признание и внедрение в таких отраслях промышленности западных стран как судостроение, производство авиационной,



космической и ракетной техники и др.

Сущность процесса иллюстрирует схема на рис. 9.21. Вращающийся цилиндрический инструмент имеет в нижней рабочей части выступающий палец и заплечики. Форм пальца может быть цилиндрической, но для лучшего перемешивания палец может иметь специальную конусную форму, напоминающую шуруп (рис. 9.21а). Заплечики имеют вогнутую форму, чтобы создавать усилие для перемещения металла шва в глубину.

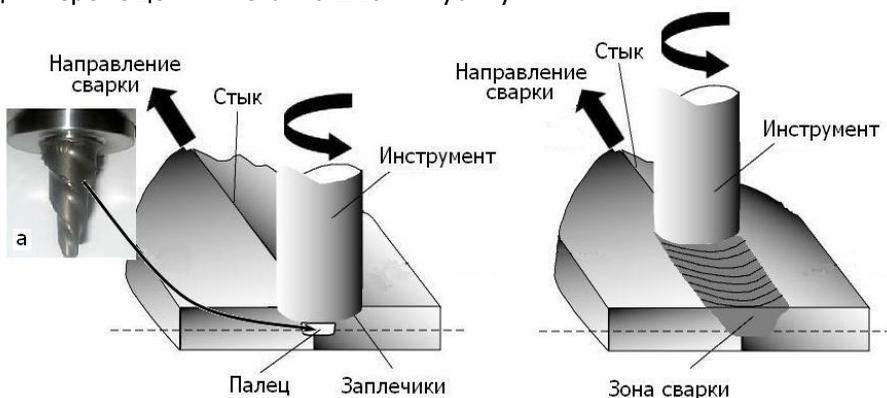


Рис 9.21. Схема процесса сварки трением с перемешиванием.

В момент начала сварки палец, вращаясь, погружается в свариваемые детали до упора в заплечики и затем начинается движение инструмента вдоль стыка. Трение, возникающее между поверхностью деталей и заплечиками инструмента, разогревает металл до пластического состояния без расплавления (при сварке алюминиевых сплавов температура нагрева составляет 400...500 °С), а вращение пальца осуществляет перемешивание металла соединяемых деталей. Таким образом, сварка трением с перемешиванием происходит без расплавления металла и может быть отнесена к способам сварки в твердой фазе. Свариваемые кромки должны быть закреплены, чтобы противодействовать силам, возникающим в процессе движения сварочного инструмента. Обычно их прижимают к подкладке.

Этапы процесса сварки трением с перемешиванием показаны на рис. 9.22.



Оборудование и технологии сварочного производства

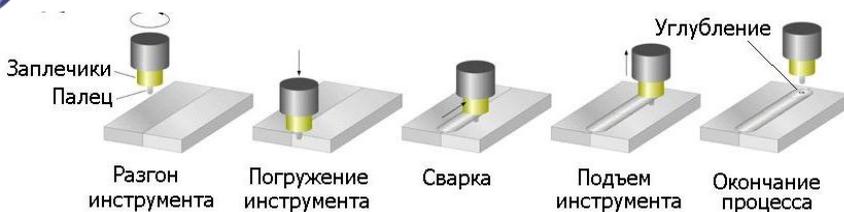


Рис. 9.22. Этапы процесса сварки трением с перемешиванием.

Процесс сварки определяют два параметра: скорость вращения инструмента ($500...2000 \text{ мин}^{-1}$) и скорость его перемещения вдоль сварного соединения. Эти два параметра взаимосвязаны, но следует иметь в виду увеличение скорости вращения инструмента или уменьшение скорости продольного перемещения его вызывает больший нагрев металла шва. Для того чтобы качественное соединение необходимо чтобы материал, окружающий палец, был способен к пластическому течению и не оказывал большого сопротивления движению сварочного инструмента. При слишком большом вводе тепла, можно ожидать образования ликвационных трещин подобно тому, как это происходит при сварке плавлением. Осевое давление на изделие составляет от 6 до 200 кН.

В сварном соединении различают четыре зоны (рис. 9.23): А – основной металл; В - зона термического влияния (HAZ); С – зона термомеханического воздействия (ТМАЗ) и D – ядро сварного шва (часть зоны термомеханического воздействия).

Основной металл: Это материал, удаленный от шва, который не подвергался деформированию и не претерпевал изменения структурных или механических характеристик в результате воздействия тепла при сварке.

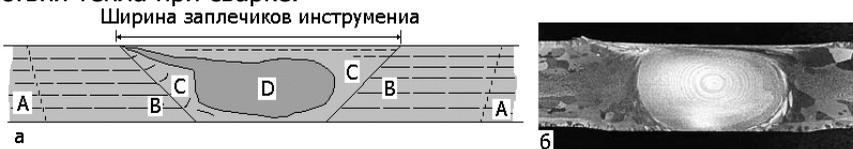


Рис. 9.23. Схема строения поперечного сечения сварного соединения.

Зона термического влияния (Heat affected zone, HAZ): Это зона сварного соединения, в которой в результате нагрева при сварке произошли структурные изменения или изменения механических характеристик, но металл не подвергался пластическому деформированию.



Оборудование и технологии сварочного производства

Зона термомеханического воздействия (Thermo-mechanically affected zone, TMAZ): В этой зоне материал подвергался пластической деформации при сварке трением с перемешиванием, а выделившееся тепло могло оказать влияние на свариваемый металл, но рекристаллизация металла не происходила. Обычно существует четкая граница между зоной рекристаллизации (ядро шва) и деформированной зоной.

Ядро шва (Weld nugget): Это область внутри зоны термомеханического воздействия, в которой произошла рекристаллизация металла. На рис. 9.22б ясно видна граница этой зоны. Несмотря на то, она является частью зоны термомеханического воздействия, ее рассматривают как отдельную зону, поскольку она отличается по структуре и размеру зерна.

Данный способ сварки наиболее широко используется для соединения деталей из алюминиевых сплавов толщиной от 1,5 до 75 мм при односторонней сварке без разделки кромок и до 100 мм при сварке с двух сторон (в два прохода). Скорость сварки может достигать 2 м/мин и до 6 м/мин в экспериментах.

В виду отсутствия расплавления металла и интенсивного перемешивания материала, находящегося в состоянии пластического течения, металл шва приобретает мелкозернистую структуру (более мелкозернистую, чем у основного металла) без включений окисной пленки, находящейся на поверхности деталей из алюминиевых сплавов. В сварных соединениях отсутствуют поры и трещины. Важным преимуществом данного способа является возможность соединения сплавов, которые трудно поддаются соединению с помощью дуговых методов сварки плавлением, а также разнородных сплавов между собой.

При использовании данного способа сварки остаточные сварочные деформации значительно меньше, чем при дуговой сварке плавлением.

Поскольку ванна расплавленного металла отсутствует, сварные соединения могут быть выполнены в любом пространственном положении без изменения режимов сварки.

Существуют разработки технологии сварки сталей и титановых сплавов.

Широкое и быстрое распространение технологии сварки трением с перемешиванием в промышленности стало следствием следующих преимуществ данного способа:

- Высокие показатели механических свойств соединений при растяжении, изгибе; при статическом нагружении и при действии переменных нагрузок.



Оборудование и технологии сварочного производства

- Возможность соединения трудно свариваемых алюминиевых сплавов, таких как сплавы, содержащие цинк.
- Высокие экономические показатели. Производственный цикл уменьшается на 50-75% по сравнению с обычными способами сварки. Низкие производственные расходы. Одним из основных достоинств изделий, сваренных сваркой трением с перемешиванием, является их готовность к применению. Нет необходимости в трудоемких послесварочных работах, таких как зачистка, шлифовка или правка. Корректно спроектированные элементы готовы к дальнейшему применению сразу после сварки. Относительно невысокие требования к подготовке кромок под сварку сокращают затраты на производство.
- Одним сварочным инструментом можно выполнить до 1000 м шва.
- Экологическая безопасность процесса, ввиду отсутствия выделения вредных газов и дымов.
- Малая величина остаточных сварочных деформаций даже при сварке протяженных швов (рис. 9.24).
- При сварке алюминиевых сплавов не требуется защитный газ и в шве отсутствует пористость и трещины.

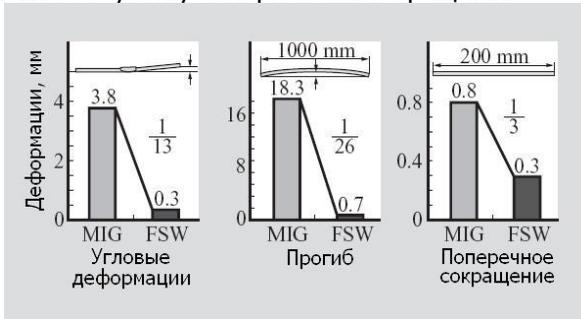


Рис. 9.24. Остаточные деформации сварных соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием.

Вместе с тем существуют некоторые ограничения на применение данного способа:

- Требуется жесткое закрепление деталей перед сваркой.
- После завершения процесса сварки в шве остается отверстие или углубление (рис. 9.22).
- Не представляется возможным выполнить сварное соединение, когда для его образования требуется присадочный материал, например, сварку угловых швов.

Основные области применения в настоящее время связаны с использованием алюминиевых сплавов, в частности, судостроение,



Оборудование и технологии сварочного производства

морские платформы; авиастроение; космическая техника; ж/д вагоны, трамваи, вагоны метро; автомобилестроение; мостовые конструкции: оборонная техника; элементы охлаждающих систем, для соединения листового проката и экструдированных профилей.

Примеры элементов сварных конструкций, выполненных сваркой трением с перемешиванием, показаны на рис. 9.25.



Рис. 9.25. Примеры сварных конструкций, выполненных сваркой трением с перемешиванием.

В настоящее время более десяти европейских фирм выпускают оборудование для сварки трением с перемешиванием. Фирма ЭСАБ Инжиниринг создала серию машин SuperStir для сварки алюминиевых пластин размером от 0,5 x 1,5м до 10 x 20м и толщиной до 15мм (при односторонней сварке) или до 30мм (при двусторонней сварке).

Одна из первых установок для сварки трением с перемешиванием была поставлена на норвежскую судостроительную фирму Marine Aluminium для производства панелей высокоскоростных судов, где предъявляются высокие требования к качеству швов, в том числе и по усталостной прочности. Было успешно сварено около 10000м швов на панелях различных размеров и толщин.

Из примеров, представленных на рис. 9.25. следует обратить внимание на изготовление ортотропной панели (крайний правый рисунок). Нахлесточное соединение выполнено по типу проплавного шва.

Во многих случаях такие соединения можно выполнять отдельными точками – точечной сваркой трением с перемешиванием (spot friction welding, SFW). Эта технология сварки была изобретена на фирме Mazda и вызывает большой интерес в автомобильной промышленности из-за простоты процесса, низких капитальных затрат (до 40%) и значительной экономии энергии (до 90%) по сравнению с электрической контактной точечной сваркой. Данный процесс легко встраивается в высоко механизированные линии поточного сборочного производства. Схема процесса показана на рис.9.26.



Оборудование и технологии сварочного производства

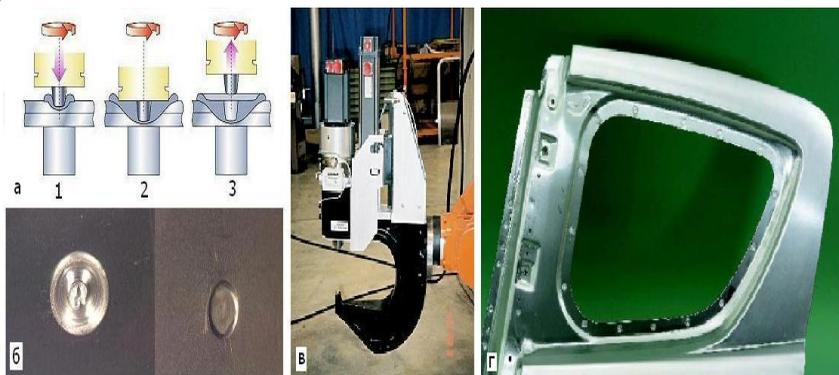


Рис. 9.26. Схема процесса точечной сварки трением (а), лицевая и обратная стороны сварного соединения (б), сварочное устройство (в) и пример сварного соединения двери автомобиля Mazda (г).

Несмотря на то, что сварное соединение имеет в центральной части несквозное отверстие, остающееся после выхода сварочного инструмента, прочность его остается на достаточно высоком уровне. Разрушение происходит путем вырыва по контуру сварной точки (рис.9.27), что свидетельствует о равнопрочности сварного соединения и основного металла. Это объясняется тем, что распределение касательных напряжений в плоскости среза крайне не равномерно. Центральная часть точки практически не нагружена.



Рис. 9.27. Разрушение образца сварного точечного соединения.

На рис . 9.28 показан роботизированный комплекс точечной сварки трением с перемешиванием деталей двери автомобиля Маз-



да.

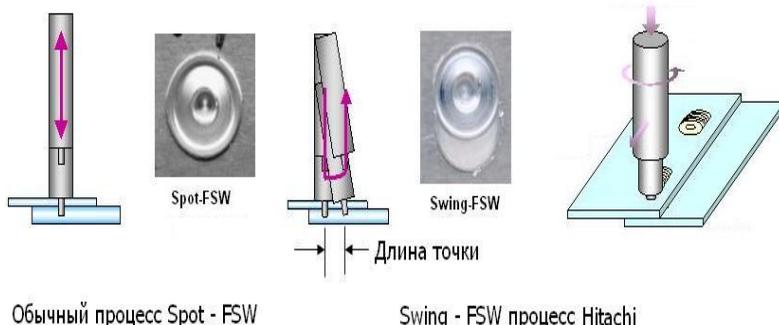


Рис. 9.28. Точечная сварка двери автомобиля Mazda RX8.

Технология точечной сварки трением оказывается конкурентоспособной по сравнению с электрической контактной сваркой применяемой в автомобилестроении, поскольку сварочное устройство создает меньшую нагрузку на руку робота, более простой оказывается система подвода энергии к сварочному устройству, так как нет необходимости подводить к месту сварки токи величиной несколько тысяч ампер.

Применительно к сварке железнодорожных вагонов на фирме Hitachi разработан новый процесс точечной сварки трением с перемешиванием, названный «Swing FSW» (рис. 9.29).

В дополнение к обычной технологии точечной сварки трением (рис. 9.29 слева) сварочный инструмент после погружения в металл совершает колебательные движения, задерживаясь в крайних положениях (рис. 9.29 справа). Это позволяет выполнить точечное соединение вытянутой формы и увеличить его прочности.



Обычный процесс Spot - FSW

Swing - FSW процесс Hitachi

Рис. 9.29. Сопоставление обычного процесса точечной сварки трением и «Swing FSW».



Завершая обзор применения различных процессов сварки трением с перемешиванием при изготовлении машиностроительных конструкций, необходимо отметить, что достигнутый в настоящее время уровень развития данной технологии позволяет с уверенностью рекомендовать эту технологию для изготовления конструкций из алюминиевых сплавов. Именно при сварке деталей из этого материала в наибольшей степени проявляются преимущества данного процесса.

Как правило, переход к применению сварки трением с перемешиванием не требует существенных изменений конструкции соединения, но в некоторых случаях внесение конструктивных изменений, учитывающих специфику данного процесса, позволяет значительно расширить область применения данной технологии.

9.3. Технология присоединения крепежных деталей

При изготовлении и монтаже машиностроительных и строительных конструкций во многих случаях используют механические способы закрепления деталей между собой или прикрепления других, вспомогательных деталей. Для этих целей используются болты, гайки, шпильки и др. В строительных конструкциях широко используются закладные детали, представляющие собой соединения пластин и стержневых деталей. Присоединение крепежных деталей к основной части конструкции представляют собой достаточно трудоемкий процесс, связанный с необходимостью сверления отверстий под болты или шпильки, нарезку резьбы и др. В некоторых случаях используется ручная дуговая сварка или контактная рельефная сварка.

В данном разделе рассматривается, высоко производительная технология присоединения стержневых крепежных деталей «Stud Welding», получившая в последние годы широкое распространение в промышленно развитых странах Запада.

Существует несколько разновидностей этого способа. Все они основаны на расплавлении металла соединяемых поверхностей за счет тепла, выделяемого при горении электрической дуги, но один из них, «CD Stud Welding», имеет принципиальное отличие по способу подвода энергии.

Этот способ сварки использует энергию, запасенной в конденсаторе (CD Stud Welding). Схема его показана на рис. 9.30.



Оборудование и технологии сварочного производства

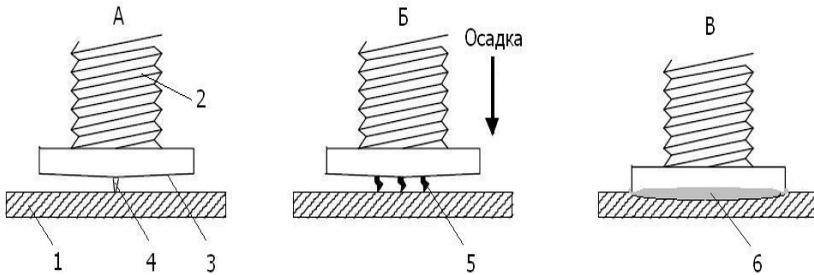


Рис. 9.30. Схема приварки стержня с использованием энергии, запасенной в конденсаторе (CD Stud Welding)

Привариваемый стержень 2 имеет плоский торец 3 с тонким выступом 4 по центру.

Перед сваркой источник питания подключают к сети и производят зарядку конденсаторной батареи большой емкости (от 12мкФ до 150мкФ, зарядное напряжение около 200 В). Затем в цанговый зажим сварочного пистолета устанавливают привариваемый стержень и фиксирует его в требуемом положении (А). Включают кнопку «пуск» и сварочный ток проходит от конденсаторных батарей через стержень к детали 1. Величина сварочного тока может достигать нескольких 5000 ампер, поэтому выступ 4 испаряется, а возникающая при этом дуга расплавляет металл торца стержня и детали (Б). В этот момент начинается движение стержня к детали, расплавленный металл вытесняется из зазора, зона сварки охлаждается, завершая цикл сварки образованием соединения в твердой фазе (В). Процесс протекает десятые доли секунды.

Схема другого процесса, с принудительным растяжением дуги (Drawn arc stud welding), изображена на рис.9.31.

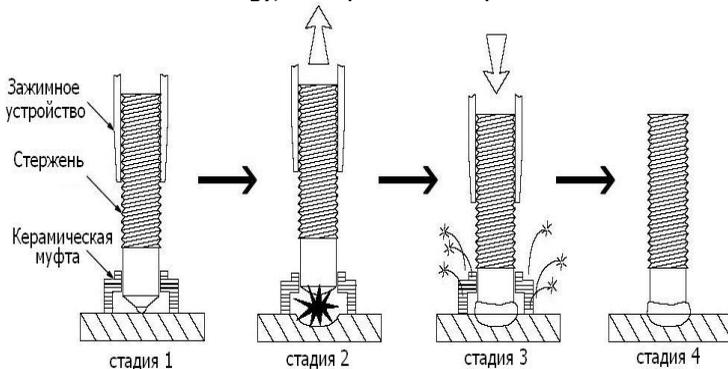


Рис. 9.31. Схема процесса с принудительным растяжением дуги (Drawn arc stud welding).



Оборудование и технологии сварочного производства

На конец привариваемого стержня надевают керамическую втулку и закрепляют его в цанговом зажиме сварочного пистолета. Заостренный конец стержня слегка прижимают к изделию (стадия 1) и включают сварочный ток. С помощью пружины стержень отводят от изделия для возбуждения дуги (стадия 2). Вначале возбуждается слаботочная дуга, затем основная. Сварочная дуга оплавляет торец стержня и поверхность детали. После истечения заданного времени и завершения процесса горения дуги, пружина, размещенная в пистолете, прижимает стержень к изделию с силой около 100 Н и завершает образование сварного соединения (стадия 3). Пистолет снимают со стержня, а керамическую втулку разбивают.

Керамическая муфта защищает расплавленный металл от атмосферы, стабилизирует дуговой процесс, уменьшает магнитное дутьё и способствует формированию ровного буртика вокруг стержня.

В качестве защиты сварочной ванны, так же, применяются защитные газы (смесь аргона с активными газами при сварке сталей; аргон или смесь аргона с гелием при сварке алюминия). При диаметре стержня менее 10 мм сварку можно вести без защиты.

Величину сварочного тока I устанавливают в зависимости от диаметра стержня d . Для $d < 16$ мм, $I = 80d$; для $d > 16$ мм, $I = 90d$.

Следующей разновидностью процесса является сварка вращающейся в магнитном поле дугой. Этот способ применяется для присоединения полых крепежных деталей типа гаек или втулок. Процесс похож на рассмотренный выше Drawn arc stud welding. Основное отличие состоит в том, что для обеспечения равномерного нагрева и расплавления торца привариваемой детали, имеющего форму кольца, на дугу накладывают магнитное поле, которое создает ее вращение и перемещение ее по торцу.

Производительность приварки стержней: вручную – 5 – 6 стержней в минуту; при автоматическом процессе до 20 штук.

На рис. 9.32. показаны примеры использования рассмотренных выше технологий приварки крепежных деталей.

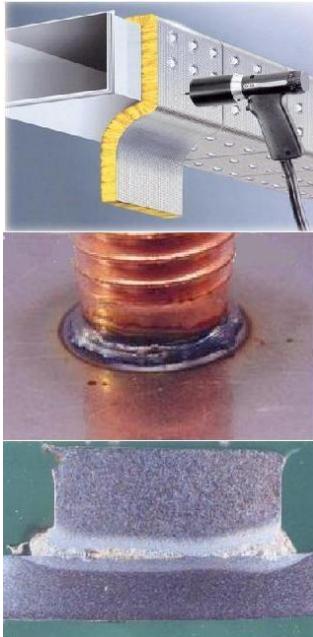


Рис 9.32. Примеры использования рассмотренных технологий сварки крепежных деталей.



Оборудование и технологии сварочного производства

Несмотря на то, что рассмотренные технологии сварки не имеют принципиально новых технических решений, в последние годы они получили широкое распространение благодаря удачно сконструированному сварочному оборудованию и массовому производству крепежных деталей, приспособленных для данной технологии соединения.



ПРИЛОЖЕНИЕ

СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА РАЗРАБОТКУ НЕСТАНДАРТНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ.

Техническое задание включает следующие основные пункты:

1. Наименование, назначение, область применения.
2. Исходные данные.
3. Источники разработки.
4. Краткое описание технологического процесса.
5. Схема размещения баз и прижимов.
6. Сварочное и вспомогательное оборудование
7. Технические требования.

Правила составления технического задания целесообразно рассмотреть на конкретных примерах.

Пример 1. – Составление задания на разработку сборочно-сварочного приспособления.

1. Наименование

Поворотное приспособление для сборки и сварки каркаса колеса рулевого управления.

2. Исходные данные.

А. Наименование изделия: каркас колеса рулевого управления.

Б. Обозначения: 010100 (указывают обозначения, принятое в технической документации).

В. Состав сборочной единицы: 010101 – 1шт., 010102 – 1 шт., 010103 – 3 шт. (указывают обозначение и количество деталей и узлов, входящих в состав сборочной единицы).

Г. Масса сборочной единицы, кг: 1,15.

Д. Габарит сборочной единицы, мм: 411x70.

Е. Краткий технологический процесс (представляется в виде таблицы с указанием основных сведений, необходимых для проектирования приспособления).

Ж. Применяемое сварочное оборудование: полуавтомат ПДГ-602.

3. Рекомендуемая схема размещения прижимов показана на рис.П1. (условные обозначения прижимов и фиксаторов дать в соответствии с ГОСТ-3.1107-73.).

Таблица 1

Номер перехода	Содержание перехода с указанием последовательности, способа установки и закрепления
1	Установить ступицу 010101 в приспособление
2	Установить спицы 010103 в ступицу по направляющим приспособления и закрепить прижимами.
3	Закрепить прижимом ступицу.
4	Установить обод 010102 в приспособление по упорам и закрепить прижимами.
5	Повернуть сборочную единицу на 90° в горизонтальной плоскости.
6	Произвести сварку сборочной единицы с поворотом ее на 360° в вертикальной плоскости
7	Произвести сварку сборочной единицы с поворотом ее на 360° в вертикальной плоскости

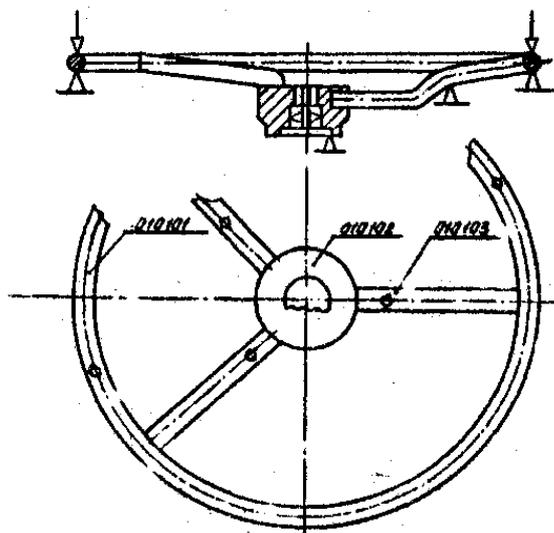


Рис.П1. Схема размещения баз и прижимов.

3. Технические требования.

Проектом должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие безопасность работ.

Конструкция должна обеспечивать свободный доступ к месту работы и возможность контроля качества внешним осмотром.



Приспособление устанавливается на пол, оно должно обеспечивать поворот изделия относительно вертикальной и горизонтальной осей, прижимы должны иметь пневматический привод.

Экономические показатели:

Программа выпуска: 100000 шт./год.

Режим работы: 2 смены.

Срок окупаемости: 6 мес.

Количество приспособлений: 3 шт.

Пример 2. – Составление задания на разработку установки для сборки и сварки.

Наименование:

Установка для сборки и автоматической сварки вала предназначена для механизации сборки-сварки кольцевых швов, она входит в состав поточно-механизированной линии.

Исходные данные.

Характеристика изделия:

Наименование: Вал

Обозначение: 150700

Масса: 23кг.

Габаритные размеры: диаметр 215x714 мм.

Программа выпуска: 20000 шт/год.

Чертеж изделия приведен на первом листе графической части курсового проекта.

Технологический процесс приведен в таблице.

Таблица 2.

Номер перехода	Содержание перехода	Продолжительность, мин.
1	Включить перегружатель транспортирующего устройства и подать вал 150701 на съемник установки для сборки и сварки, включить съемник и установить вал на высоте обеспечи-	024



Номер перехода	Содержание перехода	Продолжительность, мин.
	вающей сборку его с дисками.	
2	Надеть в ручную на вал диск 150702, а затем последовательно до упора 2 диска 150703	0,4
3	Включить съемник, установить вал с дисками соосно с центрами захватов, выставить средний диск по откидному упору, включить пневмоцилиндры и закрепить собранные детали	0,27
4	Включить сварочный автомат и приварить диски к валу тремя швами одновременно с перекрытием швов (не менее 10 мм)	0,8
5	Раскрепить узел, включить съемник, опустить вал с дисками перегружатель и передать узел на транспортирующее устройство.	0,27

Ориентировочный режим сварки:

Сварочный ток – 200 ... 250 А

Напряжение на дуге – 25..27 В

Скорость сварки – 30 м/час.

Диаметр проволоки – 1,6 мм.

Энергоснабжение установки:

Род тока – переменный

Напряжение – 380 В

Частота – 50 Гц

Давление сжатого воздуха в сети – 4 ...6 бар

Система снабжения:

Углекислым газом – централизованное.

Система питания сварочных постов – многопостовая

Технические требования:

Рекомендуемая схема размещения баз и прижимов при сборке и сварке вала с дисками показана на рис. П2

Рекомендуемая схема установки приведена на рис.П3. Она состоит из станины 1, съемника узлов 2, передние стойки с приводной планшайбой 3, передней планшайбой с прижимами 4, задние стойки 5, задние планшайбы с прижимами 6, трех сварочных головок 7, 8, 9, полуавтомата типа **A-1197** и откидного упора 10.

Сварка должна выполняться 3 сварочными головками одновременно. Подвод головок к местам сварки и отвод их должен осуществляться автоматически.

Конструкция установки должна обеспечивать возможность установки и объема узла перегружателем транспортирующего устройства.

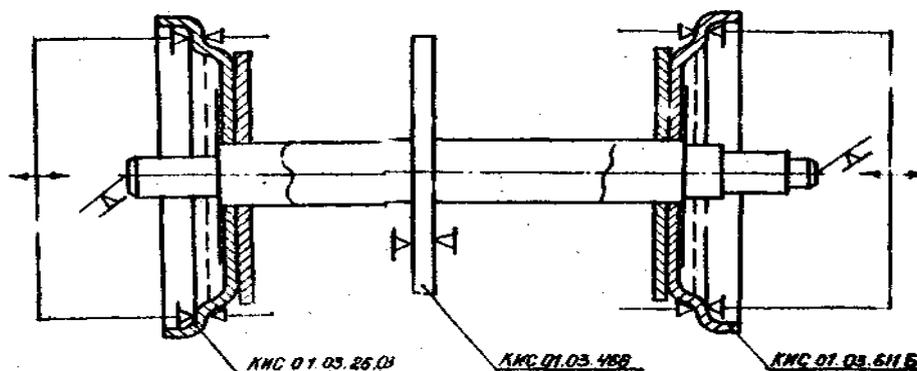


Рис.П2. Схема размещения баз и прижимов

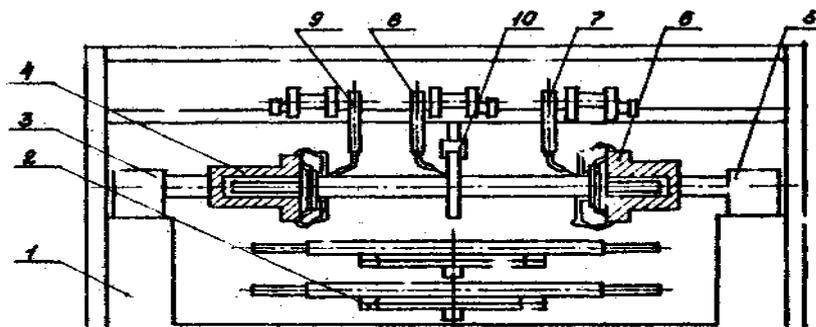




Рис. ПЗ. Схема установки для сборки и автоматической сварки валов.

Планшайба должна иметь общий электромеханический привод. Скорость вращения планшайб должна регулироваться плавно-ступенчато в пределах 15...60 м/час. ступенями через 5 м/час. Расчетная скорость сварки 30 м/час. При сварке должно обеспечиваться перекрытие начала шва не менее чем на 10 мм.

В конструкции установки должны быть предусмотрены следующие наладочные перемещения: вертикальные и продольные перемещения сварочных головок в пределах не менее 100 мм., поперечное перемещение сварочных головок в пределах не менее 50 мм.

В конструкции установки должны быть предусмотрены следующие рабочие перемещения: продольное перемещение планшайб для сборки вала с дисками; вращение планшайб со скоростью сварки; вертикальное перемещение вала с тремя фиксированными положениями – исходное положение, положение при сборке, положение при сварке, подвод сварочных головок к месту сварки и отвод их после сварки.

Конструкция установки должна обеспечить возможность настройки и работы в автоматическом и наладочном режимах каждой головки.

Габаритные размеры установки:

Длина – 2000...25000 мм.,

Ширина – 800...1000 мм.,

Высота – определяется при проектировании.

Конструкция установки должна обеспечивать свободный доступ к месту работы и возможность наблюдения за производственным процессом. Установка должна обеспечивать производство изделий в соответствии с чертежами и стабильность качества. Все поверхности установки, кроме сопрягаемых поверхностей, табличек, направляющих и комплектующих, должны иметь покрытие, обеспечивающее защиту от коррозии и товарный вид.



Требования безопасности.

Конструкция установки должна быть разработана в соответствии с «Едиными требованиями безопасности и конструкции сварочного оборудования», а также соответствовать требованиям действующей системы стандартов по безопасности труда.

Конструкция установки должна предусматривать отсос газов в местах сварки. Оператор должен быть защищен от излучения дуги и брызг расплавленного металла.

Конструкция установки должна обеспечивать безопасность монтажных и эксплуатационных работ, обслуживания и ремонт: принятое комплектующее оборудование должно быть современных типов, исключая возможность несчастных случаев от производственного включения.

Эстетически и эргономические требования.

Конструктивное оформление установки, расположение пульта управления, рукояток управления, а также расположение кнопок на пульте управления должно обеспечивать удобство в обслуживании. Цветовое оформление установки должно отвечать требованиям технической эстетики.

Экономические показатели.

Ориентировочная экономическая эффективность определяется на стадии технологического проекта.

Срок окупаемости затрат – 1 год.

Потребное количество установок – 1 шт..

Расход CO₂ – 18 л/мин.

Катет шва – 5 мм.

Длина каждого шва 160 мм.



Типовые технические требования.

Технические требования на чертежах и в техническом задании излагают, группируя вместе однородные и близкие по своему характеру, по возможности в следующей последовательности:

а) требования, предъявляемые к материалам, заготовкам, термической обработке и свойствам материалам (электрические, магнитные, диэлектрические, твердость и т.д.), указания материалов – заменителей;

б) требования к предельным отклонениям размеров, формы, взаимного расположения поверхности и т.п.;

в) требования к качеству поверхностей, указания об их отладка, покрытии;

г) требования к зазорам, расположению отдельных элементов конструкции;

д) требования, предъявляемые на стройке и регулированию изделия;

е) требования к качеству изделия, например: бесшумность, самостопорение и т.д.

ж) условия и методы испытания;

з) указания о маркировании и клеймении;

и) правила транспортировки и хранения;

к) особые условия эксплуатации;

л) ссылки на другие документы, содержание технические требования, распространяющиеся на данное изделие, но не приведенные на чертеже.

Ниже приведены наиболее характерные требования для сборочно-сварочных приспособлений.

Сварочная оснастка должна обеспечивать:

- размещение свариваемых деталей в приспособлении согласно чертежу, исключая операцию подгонки;

- доступ к местам прихваток и сварки;

- последовательность сборки и выполнение сварных швов, заданную технологией;

- соблюдение заданных размеров между кромками свариваемых деталей;

- надежное закрепления изделия силовыми прижимами для предупреждения самопроизвольного их раскрепления во время манипуляции приспособления;

- предохранения всех базовых и установочных поверхностей, силовых элементов (штоки цилиндров, резьбовые поверхности силовых зажимов), а также корпуса самой оснастки от прилипания брызг;

- возможность сварки в нижнем положении;



Оборудование и технологии сварочного производства

- регулировку отвода тепла от мест интенсивного нагрева;
- снижение деформаций в свариваемом узле.

В сварочной оснастке:

- зажимные элементы должны быть вынесены из зоны распространения сварочных брызг;
- зажимные и установочные элементы не должны создавать заклинивания под действием сварочных деформаций;
- начало и конец стыковых швов выводить на выводные планки;
- для обеспечения техники безопасности и производственной санитарии технологическая оснастка должна быть оборудована вытяжной вентиляцией;
- необходимо предупредить заземление установки;
- предусмотреть систему подвода сжатого воздуха через вращающуюся цапфу;
- предусмотреть вентиляцию мест сварки через вращающуюся цапфу;
- формирующую подкладку изготовить из медного сплава и предусмотреть ее охлаждение водой.



Оборудование и технологии сварочного производства
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куркин С.А., Николаев Г.А., Винокуров В.А., Сварные конструкции: Технология, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве. - М.: Высшая школа.- 1991.-398с.

2. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций: Учеб. Пособие для вузов / С.А. Куркин, В.М. Ховов, Ю.Н. Аксенов и др.; Под ред. С.А. Куркина, В.М. Ховова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 464с.

3. Проектирование сварных конструкций в машиностроении /Под ред. С.А. Куркина.- М.: Машиностроение. 1975. – 376с.

4. Виноградов В.С. Технологическая подготовка производства сварных конструкций в машиностроении. – М.: Машиностроение. 1981. – 224с.

5. Куркин С.А., Ховов В.М., Рыбачук А.М. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: Атлас. – М.: Машиностроение. 1989.-328с.

6. Тимченко В.А., Сухомлин А.А. Роботизация сварочного производства. - Киев :Тэхника. 1988.-175 с.

7. Винокуров В.А., Григорьянц А.С. Теория сварочных направлений и деформаций – М.: Машиностроение. 1984. – 288 с.

8. Сварка, резка, контроль: Справочник в 2-х томах / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. Т.1 / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышов, Э.А. Гладков и др. – 624с.



Оборудование и технологии сварочного производства

9. Сварка, резка, контроль: Справочник в 2-х томах / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. Т.2 / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышов, А.И. Акулов и др. – 480с.

10. Оборудование для механизированной дуговой сварки и наплавки/ Под ред. А.И. Чевртко. – М.: Машиностроение. 1979. 1981. -264с.

11. Белый Е.М. Автоматизация сборочных процессов с применением промышленных роботов. – М.: Машиностроение. 1986. – 40 с.

12. Горохов В.А. Проектирование и расчет приспособлений. – Минск, Высшая школа, 1986. – 238 с.

13. Сосуды и трубопроводы высокого давления: Справочник/ Е.С. Хисматуллин и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 384с.

14. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справоч. Пособ.: В 2-х т. Т.1. Защитные газы и сварочные флюсы /Б.П. Конищев и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 544с.

15. Металлические конструкции: В 3т. Т.1: Элементы конструкций. Учебник для вузов в 3-х томах. Т.1 / В.В.Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева 3 изд., стер., – М.: Высшая школа, 2004. – 551с.