

Министерство высшего и среднего специального
образования Р С Ф С Р

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. С.П.КОРОЛЕВА

Л.А.Дударь, Ф.И.Китаев, М.Д.Рудман

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ
В П Р О И З В О Д С Т В Е
Л Е Т А Т Е Л Ь Н Ы Х А П П А Р А Т О В

Учебное пособие

Рассмотрено и утверждено
редакционно-издательским советом
института 30.12.76 г.

К у й б ы ш е в
1 9 7 8

В авиационных вузах курсовому проектированию уделяется большое внимание, так как в деле подготовки молодых специалистов оно является важным этапом, в процессе которого будущие инженеры-механики приобретают навыки практического применения знаний.

Учебное пособие написано в соответствии с учебным планом и программой курса "Технология производства летательных аппаратов", содержит основные сведения о составе курсового проекта и методические указания по его разработке.

Пособие состоит из четырех разделов, которые знакомят студента с объемом и содержанием проекта, требованиями, предъявляемыми к курсовому проекту, последовательности разработки его разделов, глубиной проработки каждого из них и имеет некоторый справочный материал, необходимый для курсового проектирования.

Рецензенты: Е.Н.Одинокоев, В.А.Колесников,
Г.Л.Зубриенко

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КУРСОВОМ ПРОЕКТЕ

1.1. Цель курсового проекта. связь с другими дисциплинами

Курсовой проект развивает у студентов навыки самостоятельной разработки и оформления технологической документации и конструирования специальной технологической оснастки для производства сборочно-сварочных работ.

Это самостоятельная работа, требующая от студента широкого и всестороннего применения теоретических знаний и практического использования основных положений не только по указанному курсу, но и по таким ранее изученным предметам, как "Металловедение и термическая обработка", "Электротехника", "Теоретическая механика и теория механизмов и машин", "Допуски и технические измерения", "Конструкция и проектирование летательных аппаратов", "Прочность летательных аппаратов" и специальным дисциплинам "Сборочные и сварочные работы в производстве летательных аппаратов", "Экономические организации производства".

В процессе проектирования студент знакомится с нормативными и справочными материалами, учится использовать их при решении конкретных задач.

1.2. Тематика курсового проекта

Объектом курсового проектирования может быть сравнительно простые сборочные единицы (узла) летательного аппарата, например, обечайки, днища, панели, шпангоуты, силовые фермы и др. Исходными данными для выполнения проекта служат чертеж или эскиз сборочно-сварочной единицы (узла) и годовая программа выпуска узла.

В тематику курсового проектирования могут также включаться реальные задания по материалам практики или по технологической и конструкторской разработке вопросов, связанных с выполнением научно-исследовательской или учебно-исследовательской работы студента.

1.3. Содержание и объем курсового проекта

Курсовой проект состоит из трех частей (разделов): технологической, конструкторской и экономической. В первой части дается техническое обоснование и производится разработка технологического процесса сборки и сварки узла; во второй части осуществляется проектирование специальной сборочно-сварочной оснастки; третья часть посвящена экономическому обоснованию принятого варианта технологического процесса.

Содержание отдельных частей (разделов) проекта и ориентировочный объем работ по их выполнению приведены в таблице.

Т а б л и ц а

| Содержание разделов проекта | Ориентировочный объем работ | | |
|--|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | % от полного объема | графических (формат А2) | текстовых (формат А1) |
| I. Проектирование технологического процесса сборки-сварки узла | | | |
| I.1. Назначение и краткое описание конструкции узла | | | |
| I.2. Анализ технологичности конструкции и предложения по ее повышению | | | |
| I.3. Разработка схем технологического членения и сборки - сварки узла | | | 0,5-1 |
| I.4. Разработка маршрутного технологического процесса сборки-сварки узла | | | |
| Всего по пп. I.1 - I.4 | 15 | 0,5-1 | 7 - 8 |

Продолжение таблицы

| Содержание разделов проекта | Ориентировочный объем работ | | |
|---|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | % от полного объема | графических (формат 24) | текстовых (формат 11) |
| I.5. Проектирование операционного технологического процесса сборки-сварки узла | 20 | | 10 - 11 |
| I.5.1. Определение содержания переходов | | | |
| I.5.2. Расчеты тепловых процессов и режимов сварки | | | |
| I.5.3. Выбор сварочного оборудования, стандартной и нормализованной сборочно-сварочной оснастки. Составление ведомости оснастки | | | |
| I.5.4. Нормирование технологического процесса | | | |
| I.6. Расчет деформаций узла, вызванных сваркой | 3 | - | 2 - 3 |
| I.7. Разработка технических условий поставки деталей на сборку | 2 | - | 1 - 2 |
| Всего по разд. I | 40 | 0,5-1 | 20-24 |
| 2. Проектирование специальной сборочно-сварочной оснастки | | | |
| 2.1. Разработка задания на проектирование оснастки | 5 | - | 2 - 3 |
| 2.2. Разработка конструкции оснастки | 30 | 2,5-3 | 5 - 7 |
| 2.3. Кинематические, прочностные и другие расчеты элементов оснастки | 10 | - | 2 - 3 |
| 2.4. Основные указания по изготовлению, монтажу и безопасной эксплуатации оснастки | 5 | - | 1 - 2 |
| Всего по разд. 2 | 50 | 2,5-3 | 10 - 15 |
| 3. Экономическое обоснование принятого варианта технологического процесса | 10 | | 3 - 5 |
| Всего по проекту | 100 | 3-4 | 33 - 44 |

Общий объем работ по проекту, таким образом, составляет 3-4 листа (формата 24) графических работ и 34-45 страниц (формата II) текста.

Графические работы включают схему технологического членения сборочно-сварочной единицы (узла), общий вид сборочно-сварочной оснастки и рабочие чертежи на отдельные ее детали, компоновку оборудования и оснастки. Текстовые материалы состоят из пояснительной записки и карт технологического процесса.

1.4. Требования к проекту

Курсовое проектирование – серьезная самостоятельная работа студента, требующая творческого подхода и оригинального решения конкретного задания. Принимаемые технологические и конструкторские решения должны соответствовать современному состоянию техники и производства, основываться на действующих нормативных и руководящих материалах.

При анализе технологичности конструкции сборочно-сварочной единицы (узла) необходимо учитывать требования ГОСТ 14.201 ЕСТНП "Основные правила отработки конструкции на технологичность" и определить несколько количественных показателей технологичности конструкции (по согласованию с руководителем проекта).

При разработке технологического процесса сборки и сварки узла необходимо руководствоваться Государственными и Отраслевыми стандартами "Типовые технологические процессы" и "Типовые операции технологических процессов", а также отраслевыми Руководящими техническими материалами (РТМ).

Технологическая документация (карты технологических процессов, карты эскизов и схем, ведомости и спецификации) должна оформляться в соответствии с требованиями стандартов Единой системы технологической документации (ЕСТД). Пояснительная записка оформляется в соответствии с ЕСКД [1].

Определение количества необходимых для осуществления технологических процессов материалов (электродных, присадочных, припоев, флюсов, защитных газов), энергии и трудовых затрат должно производиться по действующим нормативам (ОСТ, отраслевые нормы) [2], [3]. Специальность и разряд рабочих, занятых в проектируемом технологическом процессе, должны определяться по "Едино-

му тарифно-квалификационному справочнику работ и рабочих профессий" [4].

Техническая документация на проектируемую специальную сборочно-сварочную оснастку оформляется в соответствии с требованиями стандартов "Единой системы конструкторской документации" (ЕСКД).

При расчетах технологической себестоимости изготовления узла и экономическом обосновании принятого варианта технологического процесса необходимо использовать действующие прейскуранты на материалы, полуфабрикаты, стандартное оборудование, готовые изделия, а также действующие тарифные ставки по разрядам работы (рабочих) [5].

1.5. Задание на проект, руководство проектированием, учет хода выполнения проекта, защита проекта

Каждому студенту выдается индивидуальное задание на курсовое проектирование, которое оформляется на специальном бланке. Одновременно студенту выдается эскиз или чертеж сборочной единицы (узла) с указанием основных технических требований к нему. Как правило, объект проектирования не должен повторяться в данном учебном году.

Каждый студент составляет индивидуальный график работы над проектом, предусматривающий безусловное выполнение проекта в указанный в задании срок. Студент отвечает за правильность принятых в проекте технологических и конструкторских решений. Студент посещает консультации по расписанию и согласовывает с руководителем проекта основные, принципиальные вопросы каждого раздела проекта.

Проект, выполненный в установленный срок и подписанный руководителем, представляется к защите перед комиссией в составе руководителя проекта и не менее одного преподавателя кафедры. Дата и часы защиты устанавливаются кафедрой.

Проект и его защита оценивается комиссией по четырехбалльной системе (отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно), о чем производится соответствующая запись в экзаменационную ведомость и зачетную книжку студента. Материалы защищенных курсовых проектов сдаются студентом в библиотеку кафедры.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ-СВАРКИ УЗЛА

2.1. Назначение и краткое описание конструкции

Изучение конструкции объекта проектирования начинается с уяснения его назначения, которое определяет выбор материалов, видов соединений и требований к ним (прочность, герметичность, коррозионная стойкость и др.). Предполагается подробное рассмотрение конструктивных особенностей узла и входящих в него деталей, материалов, из которых изготовлены детали, их состава, прочностных и технологических характеристик, видов соединений деталей, технических условий на изготовление узла и его конструктивных связей с другими сопрягаемыми узлами.

2.2. Анализ технологичности конструкции и предложения по ее повышению

Высокопроизводительная технология производства требует совершенной конструкции узлов (изделий), допускающей выбор рационального вида сварки, применение механизации и автоматизации процесса и т.д. Разработке технологического процесса и его оснащению должен предшествовать технологический анализ конструкции объекта проектирования.

Технологичность узла может быть оценена по следующим показателям:

свариваемости материалов, из которых изготавливаются соединяемые детали;

конфигурации, числу, расположению и протяженности сварных швов;

конструктивному оформлению свариваемых элементов в соответствии с требованиями нормативов и стандартов (соотношение толщин соединяемых деталей, расстояния от края детали при контактной точечной и шовной сварке и т.п.);

возможности подхода в зону сварки сварочных головок, электродов, возможности подхода для сборки и демонтажа стемной сварочной оснастки;

возможности визуального осмотра и контроля сварных соединений;

обоснованности технических требований чертежа – допускам по основным размерам, контролируемым после сварки, технологическим припуском на обработку и т.п.;

необходимости и возможности обработки после сварки (механической и термической обработки);

возможности применения механизированных и автоматизированных процессов, стандартного оборудования (автоматов, машин для контактной сварки, сварочных манипуляторов и стэндов) без изготовления дополнительной сложной и трудоемкой специальной оснастки.

Хорошая свариваемость материалов является одним из наиболее важных требований к конструкции узла. Свариваемость зависит от физико-химических свойств металлов (химического состава, теплопроводности, теплоемкости, активности к различным газам и т.п.). Данные по свариваемости наиболее широко применяемых в производстве деталей аппаратов материалов и дополнительные факторы, определяющие выбор вида сварки, приведены в [6], [7].

Оценивая конструкции с точки зрения расположения, конфигурации, числа сварных швов, конструктивного оформления свариваемых элементов, можно отметить следующее. Конструкция должна содержать минимальное количество сварных швов, протяженность их должна быть минимально возможной, пересечения сварных швов должны отсутствовать или их число должно быть незначительным. Увеличение количества сварных швов и их протяженности, наличие пересечения швов может приводить к значительным концентрациям напряжений, снижению прочности, деформациям узла.

Наиболее технологичными по конфигурации являются прямолинейные и кольцевые (меридианальные) швы, расположенные на плоских поверхностях и телах вращения – цилиндрах, конусах, сферах табл. 2.1, швы I, 2, 4 и 5 классов. Наличие таких швов позволяет применять стандартное, серийно-выпускаемое сварочное оборудование

Таблица 2.1

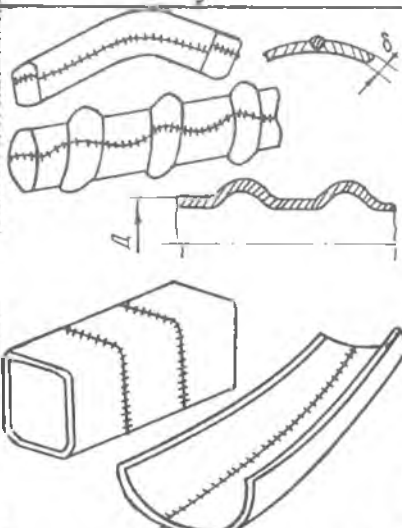
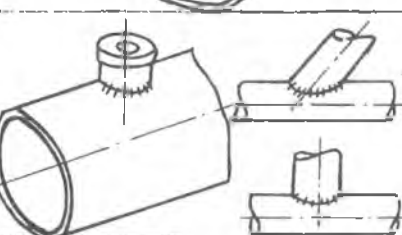
Классификация сварных швов

| Класс | Группа | Эскиз | Соединяемые элементы, типовые конструкции и размеры изделий, мм |
|-------------------|--|-------|---|
| I | 2 | 3 | 4 |
| Сварка плавлением | | | |
| I. Прямые швы | I. На плоских поверхностях | | <p>Лист с листом, лист с профилем. Заготовки из нескольких листов для последующей штамповки, кронштейны, балочки, каркасы агрегатов</p> <p>$L = 100-1500$ $S = 0,5-20,0$</p> |
| | 2. На цилиндрических и конических поверхностях | | <p>Лист с листом Обечайки</p> <p>$D = 100-5000$ $L = 100-5000$ $S = 0,5-20,0$</p> |
| 2. Кольцевые | I. На поверхности тел вращения (сферических, цилиндрических, конических) замкнутые и незамкнутые | | <p>Труба с трубой. Трубопроводы, цилиндры</p> |

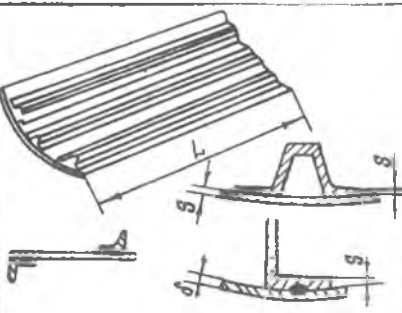
Продолжение табл. 2.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------|---|---|--|
| 2.Кольцевые | 1. На поверхностях тел вращения (сферических, цилиндрических, конических) замкнутые и незамкнутые | | Лист с листом, лист с профилем Обечайки, днища, шаро-баллоны, сферы $D = 300-6000$ $s = 0,5-10$ |
| | | | Лист с листом Горючие баки $D = 500-4000$ $D' = 120-500$ $d = 250-400$ $s = 2-5$ Лист с фланцем (штуцером) Фланцы, штуцеры на днищах, сферах, шаро-баллонах $D = 50-800$ $R = 150-3000$ $s = 1,5-10$ |
| | 2. На плоских поверхностях | | Лист с фланцем (штуцером) Фланцы, штуцеры на емкостях $D = 50-800$ $s = 1,5-10$ |
| 3. Кристаллические | 1. На плоских поверхностях замкнутые и незамкнутые | | Лист с листом, лист с трубой $s = 1-6$ |

Продолжение табл. 2.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|--|---|--|
| 3. Криволинейные | 2. На криволинейных поверхностях в одной плоскости незамкнутые и замкнутые |  | Лист с листом Патрубки, трубы, панели, баки $\angle = 100-1000$ $D = 50-300$ $S = 0,5-3$ |
| 3. | На криволинейных поверхностях в нескольких плоскостях замкнутые |  | Труба с трубой, лист с фланцем Формы, фланцы на обечайках |

Контактная точечная ишовная сварка

| | | | |
|-----------|--|--|---|
| 4. Прямые | 1. На плоских цилиндрических и конических поверхностях |  | Лист с листом, лист с профилем Панели, крышки люков, створки, баки $\angle = 200-5000$ $S = 0,5-7$ |
|-----------|--|--|---|

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|--|---|--|
| <p>5. Кольцевые швы</p> | <p>1. На поверхностях тел вращения (цилиндрических, конических, сферических) замкнутые и незамкнутые</p> | | <p>Лист с листом, лист с профилем, лист с фланцем Обечайки, полусферы, пазвели, днища, фланцы на полусферах и днищах</p> <p>$L = 500-5000$ $\varnothing = 250-2500$ $s = 0,5-7,0$</p> |
| <p>6. Криволинейные швы</p> | <p>1. На плоских поверхностях замкнутые и незамкнутые</p> | | <p>Лист с профилем, лист с окантовкой. Нервюры, шпангоуты, диафрагмы</p> <p>$L = 300-500$ $s = 1,0-7,0$</p> |
| | <p>2. На поверхностях тел вращения замкнутые и незамкнутые</p> | | <p>Лист с крестовым. Крестовины, фитинги, обтекатели на сферах, обечайках, днищах</p> <p>$R = 500-4000$ $s = 1,0-7,0$</p> |

сварочные автоматы, манипуляторы, станды, более простую унифицированную сварочную оснастку, позволяет механизировать и автоматизировать процесс сварки узлов в условиях даже мелкосерийного производства. Наличие швов сложной конфигурации, расположенных на плоских поверхностях или телах вращения, на поверхностях сложной кривизны (табл. 2.1, швы 3 и 6 классов), требует в ряде случаев применения специальной сварочной оснастки. Механизация и автоматизация процесса сварки таких швов представляет определенные трудности и в условиях мелкосерийного производства сварка швов сложной конфигурации чаще всего ведется вручную. Вместе с тем высокие требования к качеству сварных узлов летательных аппаратов обязывают изыскивать пути механизации процесса сварки криволинейных швов. В некоторых случаях эта задача может быть решена за счет разработки приспособлений, в которых используются копыры и программные устройства.

Расположение сварных швов должно быть таким, чтобы обеспечивался свободный доступ к ним сварочных головок, электродов и инструмента, свободный доступ для сборки и монтажа съемной сварочной оснастки, осмотра и контроля, устранения дефектов, механической обработки, если она необходима. При сварке профильных деталей с листовыми желательнее, чтобы профили были открытыми: угольник с нулевой или открытой малкой, тавр 1, 2 - образный. Наличие П-образных профилей (при сварке по одной из полок), профилей другого сечения с закрытой малкой затрудняет подходы при сварке и контроле.

Нетехнологичным является расположение шва, близкое к выступающим частям детали (например, буртам), так как это затрудняет процесс сварки и увеличивает концентрацию напряжений. Расположение шва против бурта существенно ухудшает условия проведения рентгеновского контроля. Малое расстояние между соседними швами приводит также к ухудшению структуры металла и увеличению концентрации напряжений.

Большое влияние на качество сварки оказывает соотношение толщины соединяемых элементов деталей и количество свариваемых одновременно деталей. При сварке плавлением не рекомендуется соединение трех и более деталей одним швом, желательнее, чтобы толщина соединяемых элементов была одинаковой или отличалась незначительно. Толщина свариваемых деталей влияет на выбор вида сварки. Соотношение толщины и количество деталей в соединении при контактной

точечной и шовной сварке зависят от категории соединения и регламентируются производственными инструкциями и техническими условиями.

Конструктивное оформление сварных швов должно соответствовать нормам и стандартам.

При сварке плавлением наиболее технологичны стыковые соединения; они имеют высокую прочность как при статических, так и при знакопеременных нагрузках, чем и объясняется широкое применение их в конструкциях. Соединения в тавр обладают значительно меньшей прочностью, особенно при знакопеременных нагрузках. Соединения в нахлестку просты в изготовлении и достаточно технологичны. Однако прочность этих соединений, особенно усталостная — невелика. Эти соединения применяются редко, только тогда, когда невозможно другое конструктивное решение.

Кроме указанных выше показателей, технологичность сварных узлов может оцениваться и по общим критериям, используемым для оценки технологичности клепаных конструкций, таким, как членение узла (агрегата) на отдельные под сборки, коэффициент использования нормализованных и стандартизованных заготовок (листов, профилей, труб) для изготовления деталей и др.

В случае изменения конструкции узла в целях повышения его технологичности необходимо рассчитать некоторые количественные показатели технологичности, такие, например, как уменьшение протяженности сварных швов (абсолютное или на единицу веса конструкции), повышение степени механизации процесса (как отношение длины швов, выполненных механизированным способом, к общей протяженности сварных швов) и др. Окончательной оценкой эффективности предлагаемого конструктивного изменения является снижение технологической себестоимости узла.

2.3. Разработка схем технологического членения и сборки-сварки узла

Членение узлов на отдельные под сборки позволяет повысить степень механизации сборочно-сварочных работ и, следовательно, производительность труда, применить параллельное изготовление подборок, что снижает цикл изготовления узла в целом, повысить качество за счет разделения и специализации труда. Схема членения узла опреде-

ляется в значительной степени конструктивно-технологическими особенностями, заложенными при его проектировании. Однако, если при разработке технологического процесса выявляется необходимость в дополнительном членении узла и это обеспечивает высокие технико-экономические показатели его изготовления, следует на это идти. При этом необходимо выполнить поверочные прочностные расчеты узла, которые должны подтвердить возможность внесения в него конструктивных изменений. Схема членения выполняется в виде изометрического изображения узла и входящих в него деталей.

Схема сборки определяет последовательность поступления на сборку (сварку) отдельных подборок и входящих в них, а также в узел деталей. В схемах сборки принято указывать не только детали и под сборки, но и рабочие места, на которых осуществляется сборочно-сварочные и вспомогательные операции (приспособления, оборудование, верстаки и т.п.).

2.4. Разработка маршрутного технологического процесса сборки-сварки узла

Задачей на курсовой проект предусматривается разработка маршрутно-операционного технологического процесса сборки-сварки узла, в котором содержание сварочных операций излагается с указанием переходов и режимов.

При этом ограничиваются разработкой только следующих технологических документов, предусмотренных ГОСТ 3.1102-74 ЕСТД Стандии разработки и виды документов⁴:

маршрутная карта (МК) - технологический документ, содержащий описание технологического процесса изготовления или ремонта изделия (включая контроль и перемещения) по всем операциям различных видов в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах, в соответствии с установленными формами;

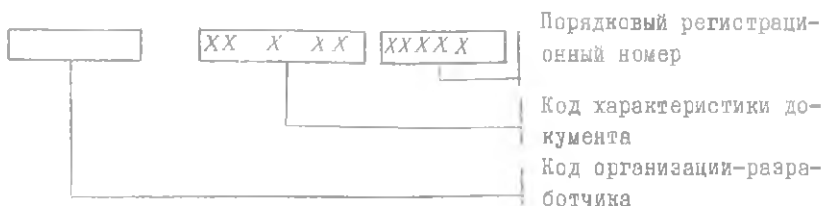
карта эскизов (КЭ) - технологический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы, необходимые для выполнения технологического процесса, операции или перехода изготовления или ремонта изделия (включая контроль и перемещения);

операционная карта (ОК) - технологический документ, содержащий описание технологической операции с указанием переходов, режимов обработки и данных о средствах технологического оснащения;

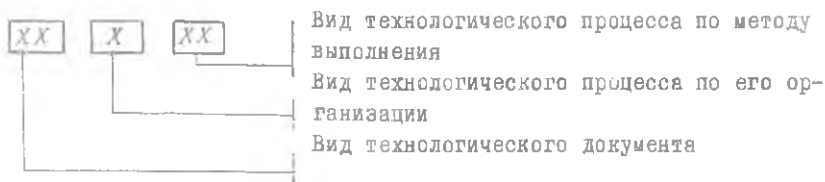
ведомость оснастки (ВО) – технологический документ, содержащий перечень технологической оснастки, необходимой для выполнения данного технологического процесса (операции).

Маршрутная карта, карта эскизов и ведомость оснастки оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1105-74 ЕСТД. "Правила оформления документов общего назначения", операционные карты на дуговую, электрошлаковую, электронно-лучевую, контактную стыковую, точечную и шовную, газовую сварку – по ГОСТ 3.1406-74. ЕСТД. "Правила оформления документов на сварку"; на сварку трением – по ГОСТ 3.1413-74, на процессы пайки – по ГОСТ 3.1417-74.

В ГОСТ 3.1201-74 ЕСТД. "Система обозначения технологических документов" устанавливается следующая структура обозначения документов:



Код характеристики документа имеет следующую структуру:



Некоторые коды приведены в табл. 2.2

Т а б л и ц а 2.2.

Коды характеристик технологических документов

| Код | Вид технологического документа |
|-----|--------------------------------|
| 10 | Маршрутная карта |
| 20 | Карта эскизов |
| 42 | Ведомость оснастки |
| 60 | Операционная карта |

Продолжение табл. 2.2

| | Вид технологического процесса (операции) по его организации |
|----|--|
| 1 | Единый процесс |
| 2 | Типовой процесс |
| | Вид технологического процесса (операции) по методу выполнения |
| 06 | Раскрой и отрезка заготовок |
| 40 | Механическая обработка |
| 46 | Обработка на станках с числовым программным управлением |
| 50 | Термическая обработка |
| 72 | Электрохимическая обработка |
| 71 | Нанесение химического, электрохимического покрытий, химическая обработка |
| 80 | Пайка |
| 88 | Слесарные, слесарно-сборочные и электромонтажные работы |
| 90 | Сварка |
| 91 | Дуговая и электрошлаковая сварка |
| 92 | Газовая сварка и резка |
| 93 | Контактная точечная и контактная шовная сварка |
| 94 | Контактная стыковая сварка |
| 95 | Электронно-лучевая сварка |
| 96 | Сварка трением |

Чертежом узла задается вид, а иногда и способ сварки, определяются требования к прочности, герметичности, коррозионной стойкости сварных соединений. Оценивая технологичность конструкции узла (разд. 2.2), студент вносит предложения с целью улучшения качества сварных соединений, повышения производительности и улучшения условий труда, меньшего загрязнения окружающей среды.

Эти предложения должны быть технически и экономически обоснованы при рассмотрении не менее двух вариантов технологического процесса сборки-сварки узла. Решающее значение при этом имеет правильный выбор вида и способа сварки, обеспечивающие необходимые размеры зоны соединения при минимальном разупрочнении основного металла, минимальных внутренних напряжениях и деформациях.

Вид и способ сварки необходимо выбирать с учетом конструктивных особенностей узла (марка материала и его толщина в зоне сварки, вид сварного соединения, габаритные размеры узла, возможности и удобства его перемещения в процессе сварки и др.) и технических требований к нему (требования прочности, герметичности, коррозионной стойкости и др.).

При прочих равных условиях следует отдавать предпочтение процессам сварки, менее энергоемким, с большой поверхностной интенсивностью, лучшей защитной зоны сварки от воздуха, с более высоким уровнем механизации и автоматизации. Например, процессы механического класса сварки, как правило, отличаются меньшей энергоемкостью, чем процессы термического класса. Поверхностная интенсивность электронного и лазерного луча значительно выше, чем дуги, что позволяет при их использовании существенно уменьшить размеры сварного шва и зоны термического влияния, снизить деформации элементов узла.

При выборе способов сварки решающее значение имеет повышение качества шва и сварного соединения в целом. Обоснование выбора способов контроля качества и аппаратуры для его осуществления проводится с учетом их разрешающей способности [39]. Приведем несколько примеров выбора вида и способа сварки.

П р и м е р 1. Узел-обечайка бака из сплава АМг6. Основное требование к сварным соединениям - высокая герметичность. Чертежом предусмотрено применение аргоно-дуговой сварки вольфрамовым электродом с непрерывной подачей присадочной проволоки.

В данном случае можно предложить замену непрерывной подачи присадочной проволоки прерывистой ее подачей. Прерывистое плавление и поступление присадочного материала в сварочную ванну обуславливает ее послойную кристаллизацию и пространственную ориентировку зерен в отдельных слоях. При этом значительно уменьшается вероятность образования сквозных пор в сварном шве, что повышает их герметичность. Хотя скорость сварки, и связанная с ней производительность процесса ниже, чем при сварке с непрерывной подачей присадочной проволоки, однако уменьшение брака при изготовлении узла и повышение эксплуатационной надежности изделия делают целесообразным применение указанного способа [8].

П р и м е р 2. Материал узла - сплав АМг6, толщина 5...20 мм. Основное требование к сварным соединениям - высокая прочность. Чертежом предусмотрена аргоно-дуговая сварка вольфрамовым электродом.

В настоящее время дуговая сварка алюминиевых сплавов вольфрамовым электродом осуществляется чаще всего в среде аргона на однофазном переменном токе дугой прямого действия, что вызвано, как известно, особенностями горения дуги и очистки сварочной ванны от окислов. Желательно рассмотреть целесообразность сварки на

постоянном токе прямой и обратной полярности в смеси аргона и гелия, а также трехфазным током.

Сварка на постоянном токе прямой полярности обеспечивает устойчивое горение многоамперных дуг при малом износе вольфрамового электрода. Так, при диаметре вольфрамового электрода 6 мм допустимый сварочный ток 750А, при использовании итрированного вольфрама - до 900А, при сварке на переменном токе, примерно, 300А, а на постоянном токе обратной полярности - лишь 90А. Использование больших сварочных токов позволяет значительно повысить скорости сварки, уменьшить число проходов. Особенно эффективно применение смеси газов (60-70% и 40-30%). По данным Института электросварки имени Е.О.Латона [9] возможна сварка встык алюминиевых сплавов толщиной до 20 мм без разделки кромок за один проход со скоростью до 25 м/ч. Высокое качество сварки обусловлено электронной бомбардировкой сварочной ванны, значительным повышением доли основного металла в металле шва, меньшей шириной шва и зоны термического влияния.

Сварка на постоянном токе обратной полярности сжатой дугой

Высокое качество сварки обеспечивается интенсивным катодным распылением при бомбардировке поверхности ванны ионами аргона и концентрацией нагрева. Вольфрамовый проволочный электрод заменяется вольфрамовым цилиндром небольшой длины, запрессовываемым в водоохлаждаемый медный стержень, что обеспечивает его высокую долговечность при сравнительно больших сварочных токах (табл.2.3).

Т а б л и ц а 2.3

Ориентировочные режимы сварки

| Толщина материала, мм | I св А | U _г В | d _w мм | V св.м/ч | Расход газа, л/мин | |
|-----------------------|-----------|---------------------|-------------------|----------|--------------------|-----------|
| | | | | | плазмо-образующего | защитного |
| 4,5 | 110- | 32 | 6 | 12 | 0,8 | 18 |
| 8 | -120 | | | | | |
| 8 | 180- | 33 | 6 | 12 | 1,0 | 20 |
| | -200 | | | | | |

Сварка трехфазным током. По сравнению с однофазной дугой сварочная трехфазная дуга (дуги) отличается высокой стабильностью, возможностью более широкого регулирования количества тепла вводимого в свариваемое изделие, меньшим (на 20-40%) расходом электроэнергии, лучшей очисткой сварочной ванны от окислов, большей проплавающей способностью, что позволяет повысить скорость сварки. Хорошие результаты дает применение трехфазной дуги при сварке стыковых соединений в сочетании с небольшой нахлесткой верхней детали, прижимаемой к нижней детали, служащей присадочным материалом и компенсирующей неравномерность зазора между кромками [10].

П р и м е р 3. Материал узла - нержавеющая сталь или титановый сплав. Толщине материала в зоне соединения от 0,05 до 16 мм. Основные требования: при сварке малых толщин - минимальное коробление кромок, отсутствие прожогов; при сварке больших толщин - высокая эффективность газовой защиты, большая доля основного металла в металле шва. Чертежом предусмотрено применение аргоно-дуговой сварки вольфрамовым электродом.

Необходимо учесть возможность применения сварки закрытой сжатой дугой [11]. При этом способе дуга горит внутри полости, образуемой медным водослаждаемым ползуном, прижимаемым к кромкам свариваемых деталей. Сжатие дуги приводит к повышению ее проплавающей способности при значительно меньших расходах аргона, что позволяет сваривать материал толщиной до 16 мм без разделки кромок за один проход со скоростью до 12 м/ч (сварочный ток до 300А, расход аргона до 4 л/мин).

П р и м е р 4. Желательно рассмотреть возможности применения импульсно-дуговой сварки с учетом ее особенностей и преимуществ при изготовлении заданного узла. При сварке малых толщин обычно применяется импульсно-дуговая сварка вольфрамовым электродом, повышенных толщин - плавающим электродом. Этот способ применим при сварке конструкционных, нержавеющих и жаропрочных сталей, титановых и алюминиевых сплавов и, в отличие от сварки стационарной дугой, обеспечивает хорошее формирование сварных швов во всех пространственных положениях при меньших деформациях. Швы, выполненные ИДС, отличаются повышенной плотностью, мелкозернистой структурой, высокими механическими характеристиками.

П р и м е р 5. Необходимо разработать технологический процесс изготовления кругового шпангоута таврового сечения площадью около 2000 мм² из алюминиевого сплава. Такой шпангоут может быть

изготовлен из монолитной тороидальной заготовки прямоугольного сечения, полученной ковкой, с последующей механической обработкой до необходимой формы и размеров. При большом диаметре шпангоута (например, более 1 м) изготовление его из монолитной заготовки становится экономически невыгодным из-за очень низкого коэффициента использования материала заготовки и большой трудоемкости механической обработки.

Желательно рассмотреть целесообразность изготовления шпангоута из прессованного профиля требуемой формы поперечного сечения с последующим гибом и сваркой одного или более стыков. Возможно применение аргоно-дуговой сварки, контактной стыковой сварки оплавлением, электрошлаковой, электронно-лучевой сварки. Применение контактной стыковой и электрошлаковой сварки предусмотрено отраслевым стандартом и целесообразность их использования в проекте должна быть проверена в первую очередь.

П р и м е р 6. Заданный узел-панель или отсек из обшивки и набора стрингеров и шпангоутов. Материал - высокопрочный алюминиевый сплав типа Д16АТ. Основное требование к сварным соединениям - высокая прочность и коррозионная стойкость. Чертежом предусмотрено применение потайных заклепочных соединений. Целесообразно рассмотреть сварной и клеесварной варианты изготовления узла с использованием контактной точечной и шовной сварки. Практика машиностроения показывает техническую возможность и экономическую целесообразность осуществления таких технологических процессов [12].

Большие резервы повышения качества и производительности сварочного производства заложены в механизации и автоматизации вспомогательных работ-обработки кромок и поверхности деталей перед сваркой, предварительной сборки деталей, перемещения деталей и узла к рабочим местам, их фиксации в сборочных и сварочных приспособлениях и установках, при проведении контрольных и испытательных операций.

Приведем для примера маршрутные карты двух вариантов изготовления узла, представляющего собой обечайку, состоящую из облочечек и плат. Материал деталей - алюминиевый сплав АМг6, толщиной 3 мм. Чертежом предусмотрена автоматическая аргоно-дуговая сварка стыковых соединений вольфрамовым электродом с непрерывной подачей присадочной проволоки (табл. 2.4).

Т а б л и ц а 2.4

Маршрутные карты технологического процесса*

| Номер операции | Наименование и содержание операций | Код характеристики документа | | | Оборудование |
|----------------|---|------------------------------|---|----|---|
| | | первый вариант | | | |
| 1 | Фрезерование плат | 10 | I | 40 | Горизонтально-фрезерный станок Фрезаерный станок с программным управлением ножницы рычажные Гибочный станок Промывочные ванны Ванны травления Установка для стыковых швов обечайки |
| 2 | Фрезерование заготовок обечаек | 10 | I | 46 | |
| 3 | Изготовление технологических образцов | 10 | I | 06 | |
| 4 | Гибка заготовок обечаек | 10 | I | 30 | |
| 5 | Промывка заготовок от клея и бумаги | 10 | I | 7I | |
| 6 | Травление заготовок и образцов-свидетелей под сварку | 10 | I | 7I | |
| 7 | Сборка и сварка обечайки (аргонно-дуговая сварка вольфрамовым электродом на однофазном переменном токе) | 10 | I | 9I | |
| второй вариант | | | | | |
| 1 | Фрезерование плат | 10 | I | 40 | Фрезерный станок с числовым программным управлением Фрезерный станок с числовым программным управлением Копировально-гибочный станок Механизированная установка Механизированная линия химической обработки деталей перед сваркой |
| 2 | Фрезерование заготовок | 10 | I | 46 | |
| 3 | Гибка заготовок обечаек | 10 | I | 30 | |
| 4 | Промывка заготовок от клея и бумаги | 10 | I | 7I | |
| 5 | Травление заготовок и образцов-свидетелей под сварку | 10 | I | 7I | |

* Приведены только основные графы

Продолжение табл. 2.4

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|--------|--|
| 6 | Сборка и сварка обечайки (аргоно-дуговая сварка трехфазным током вольфрамовыми электродами) | Ю I 9I | Установка для аргоно-дуговой сварки трехфазным током |

Предпочтительней второй вариант технологического процесса, отличающийся большей степенью механизации подготовительных работ.

Экономическое обоснование принятого технологического процесса производится сопоставлением технологической себестоимости изготовления заданной программы узлов (см. разд. 4).

2.5. Проектирование операционного технологического процесса сборки-сварки узла

2.5.1. Определение содержания переходов

Требуется разработать не менее двух вариантов операционного технологического процесса сборки-сварки узла. Технологический процесс оформляется на операционных картах принятого вида сварки с соблюдением требований стандартов ЕСТД. Технологическая операция сборки-сварки состоит из вспомогательных переходов (установка сварочного приспособления на рабочее место, установка и закрепление деталей в сборочном и сварочном приспособлениях, их расфiksация и удаление из приспособлений и др.) и основных переходов (сварка, зачистка швов, контроль размеров и формы швов и др.).

Последовательность и содержание переходов определяются конструкцией узла и устанавливаются на основании директивных технологических документов (типовые технологические процессы, руководящие технические материалы на изготовление узлов данного класса [5] и производственного опыта). Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей, их размеры, размеры выполненных швов определяются по государственным и отраслевым стандартам или другим документам в зависимости от марки и толщины деталей, типов-сварных соединений [1], [5].

2.5.2. Расчеты тепловых процессов и режимов сварки

Режимы сварки устанавливаются, как правило, по табличным данным для каждого способа сварки в зависимости от марки основного металла и его толщины, вида соединения.

Основные параметры режимов дуговой и контактной сварки и численные значения для наиболее широко применяемых в производстве летательных аппаратов материалов приведены в [5], ч. I.

Для лучшего выяснения сущности процессов сварки, связи между параметрами режима и их влияния на размеры и форму сварного шва, необходимо выполнить поверочный расчет одного, двух параметров режима сварки и сопоставить полученные результаты с табличными.

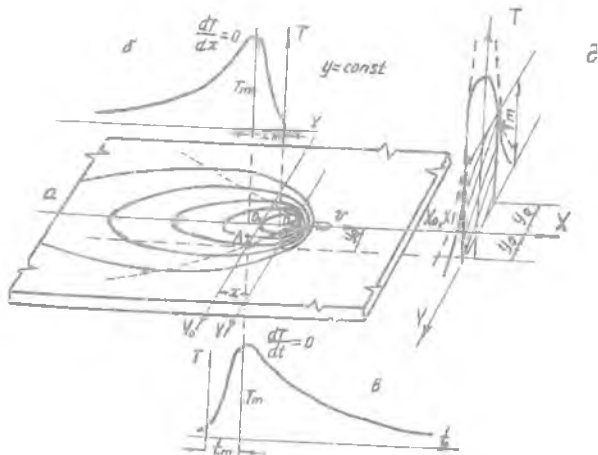
Основные параметры режима электрической сварки плавлением пластин могут быть определены из расчета температурных полей в них по справочнику [13], а режимы контактной сварки — по методикам учебного пособия [14].

Ниже приводятся некоторые сведения по расчету температурных полей при сварке плавлением.

В практике разработки технологических процессов изготовления сварных конструкций летательных аппаратов встречаются задачи, требующие определения различных характеристик температурного поля, вызываемого сваркой. Первая из них охватывает задачи, связанные с изучением структурных превращений и физико-химических процессов, протекающих в металле шва и околошовной зоне. Вторая связана с получением данных для изучения и расчета сварочных деформаций и напряжений в металле шва и сварного соединения. В зависимости от толщины свариваемых элементов различают три основных характерных случая распространения тепла, вводимого перемещающейся сварочной дугой. Соответственно применяются три различных схемы расчета температурного поля.

При изготовлении сварных конструкций летательных аппаратов приходится встречаться с линейной схемой источника, когда сварка или наплавка выполняется за один проход с полным проплавлением. Температура нагрева вблизи сварочной дуги при этом процессе устанавливается одинаковая по всей толщине элемента.

Температурное поле в детали, возникающее при сварке плавлением, имеет области круто и пологопадающих температур по мере удаления от источника тепла (рис. 2.1).



Р и с. 2.1. К определению максимальной температуры в точке свариваемого изделия: а - схема изделия с изотермами подвижного поля; б - распределение температуры по оси в подвижном поле; в - изменение температуры в точке неподвижного поля; г - мгновенное распределение тепла в поперечном элементе пластины, определяющее прогрев зоны шириной 2% до температуры $T_m(y_0)$

Максимальная температура в точке на расстоянии y_0 от оси линейного источника, быстро перемещающегося по поверхности полубесконечного тела или бесконечной пластины, выражается зависимостью:

$$T_m(y_0) = \frac{\eta_t \varphi_{\text{зр}}}{v_{\text{св}} c \gamma S 2 y_0} \left(1 - \frac{\delta y_0^2}{2a}\right), \quad (I)$$

где η_t - термический КПД процесса проплавления основного металла дугой - выражает отношение теплосодержания проплавленного за единицу времени основного металла к эффективной тепловой мощности дуги;

$\varphi_{\text{зр}} = \eta_{\text{и}} 0,24 u_{\text{д}} J_{\text{св}}$ - эффективная тепловая мощность процесса нагрева, кал/с;

$\eta_{\text{и}}$ - эффективный КПД нагрева основного металла;

$v_{\text{св}}$ - скорость сварки, см/с;

c - удельная теплоемкость, кал/г °C;

- $\rho = \frac{\gamma}{\sigma \gamma \delta}$ - плотность основного металла, г/см³;
 $\delta = \frac{2\alpha}{\sigma \gamma \delta}$ - коэффициент температуротдачи, учитывающий интенсивность понижения температуры пластины при теплоотдаче в окружающую среду, 1/°;
 α - коэффициент теплоотдачи, кал/см²с град;
 $2y_0$ - ширина зоны нагрева до температуры T_m (y_0), см;
 S - толщина основного металла, см;
 $\alpha = \frac{\lambda}{\sigma \delta}$ - коэффициент температуропроводности основного металла, см²/с;
 λ - коэффициент теплопроводности, кал/см с град.

Коэффициент $\eta_r = \sqrt{\frac{\lambda^2}{\pi \epsilon}}$ характеризует эффективность использования тепловой энергии, введенной подвижным сосредоточенным источником для местного прогрева, и определяется процессом распространения тепла по металлу вследствие теплопроводности. Для случая наплавки узкого валика мощной быстродвижущейся дугой на массивное тело термической КПД стремиться к значению 0,368, а при сварке тонких листов встык мощной быстродвижущейся дугой к значению 0,484 [15].

Термический КПД процесса прогрева пластины линейным быстродвижущимся источником изображается отношением площади заштрихованного прямоугольника к площади изохромы, в которую вписан этот прямоугольник (рис. 2.1, г).

Эффективный КПД нагрева основного металла дугой η_u , представляющий отношение количества тепла, введенного дугой в металл, к тепловому эквиваленту электрической мощности дуги зависит в основном от технологических условий сварки и определяется по справочным данным (табл. 2.5).

Т а б л и ц а 2.5

Эффективный КПД процесса нагрева изделия дугой для различных условий сварки

| Способы сварки | Эффективный КПД η_u |
|--|--------------------------|
| Под флюсом | 0,80 - 0,95 |
| Вольфрамовым электродом в среде аргона | 0,48 - 0,52 |
| Плавающимся электродом в среде аргона | 0,68 - 0,74 |

Двучлен $(1 - \frac{b_{из}^2}{2a})$ учитывает интенсивность теплоотдачи - чем больше коэффициент δ , тем ниже максимальная температура на данном расстоянии от оси шва.

При незначительной поверхности теплоотдаче ($\delta = 0$) зависимость (I) преобразуется в

$$T_m(y_0) = \frac{0,484 q_{эф}}{v_{св} C \gamma S 2 y_0} \quad (2)$$

Максимальная температура при нагреве пластины быстро движущимся источником тепла пропорциональна погонной энергии ($q_{эф}/v_{св}$) и обратно пропорциональна расстоянию (y_0) данной точки от плоскости перемещения источника. Задаваясь значением максимальной температуры T_m можно определить, на каком расстоянии от оси шва она получается

$$y_0 = \frac{0,242 q_{эф}}{v_{св} C \gamma S T_m} \quad (3)$$

Коэффициенты теплоотдачи при различных условиях теплоотвода приведены в табл. 2.6, теплофизические свойства некоторых конструкционных материалов - в табл. 2.7.

Т а б л и ц а 2.6

Коэффициенты теплоотдачи при различных условиях теплоотвода [13]

| Величины характеризующие эффективность теплоотвода | Теплоотводящие башмаки | | | | Теплоотводящая стальная неохлаждаемая плита (поверхности пластины и плиты очищены и обезжирены) | | Отдача в воздух |
|--|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|-----------------------|-----------------|
| | Медные | | Стальные | | Отдача с одной стороны | Отдача с двух сторон | |
| | Поверхность пластины травленая | Поверхности пластины обезжирены | Поверхности пластины обезжирены | Поверхности пластины обезжирены | | | |
| | $z=10\text{мм}$ | $z=30\text{мм}$ | $z=10\text{мм}$ | $z=30\text{мм}$ | | | |
| Контурная поверхность касания или давление | 80-90% | 80-90% | 80-90% | 80-90% | 0,5кГ/см ² | 0,5кГ/см ² | |
| $\alpha \cdot 10^{-3}$ ккал/см ² ·с ⁰ С | 110-130 | 85-98 | 45-51 | 7-10 | 2-3,5 | 2-4 | 0,569 -0,3 |

П р и м е ч а н и е . Приведенные данные получены при расстоянии от оси шва до теплоотводящего башмака равном $1,5 S$ (z - расстояние от средней плоскости пластины до оси каналов с охлаждающей жидкостью)

Расчет силы сварочного тока и скорости подачи электродной (присадочной) проволоки при дуговой сварке стыковых соединений

(по материалам кафедры сварочного производства МАТИ [16]). Сила сварочного тока (без учета теплоотдачи в окружающую среду) может быть определена из следующих зависимостей:

Для быстродвижущейся дуги ($v_{св} > 20 - 30$ м/ч)

$$I_{св} = 4,2 \frac{Q_g F_{np} v_{св}}{\eta_u \eta_t \eta_g}, \text{ А}; \quad (4)$$

для дуги, движущейся с относительно малой скоростью ($v_{св} < 20 - 30$ м/ч),

$$I_{св} = 20 \frac{Q_g \sqrt{v_{св} a S F_{np}}}{\eta_u \eta_g}, \text{ А}, \quad (5)$$

где Q_g - теплосодержание сварочной ванны, кал/см³;
 F_{np} - площадь проплавления основного металла, см²;
 $v_{св}$ - скорость сварки, см/с;
 η_g - напряжение на дуге, В.

Теплосодержание сварочной ванны Q_g складывается из тепла на нагрев сварочной ванны до температуры плавления металла, тепла на плавление металла и тепла на перегрев ванны и определяется по формуле

$$Q_g = c\gamma T_{пл} + \gamma L_{пл} + c\gamma T_{пер}, \quad (6)$$

где $c\gamma$ - объемная теплоемкость металла сварочной ванны, кал/см³С;
 $T_{пл}$ - температура плавления основного металла, °С;
 $T_{пер}$ - температура перегрева сварочной ванны, °С (может быть принята равной, примерно, 0,2 $T_{пл}$);
 $L_{пл}$ - теплота плавления основного металла, кал/г (см. табл. 2.7).

Площадь проплавления определяется графическим путем при заданных форме и размерах сварного соединения (рис. 2.2)

$$F_{np} = \frac{\pi S^2}{2}, \text{ см}^2.$$

Скорость сварки и напряжением на дуге задаются заранее.

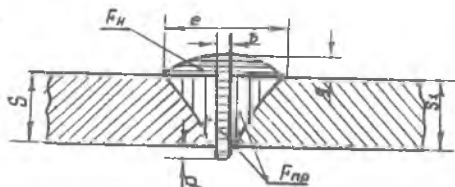
Рассчитанная по формулам сила сварочного тока сравнивается с рекомендуемыми табличными значениями и проверяется расчетным определением ширины шва.

Т а б л и ц а 2.7

Теплофизические свойства различных материалов

| Материал | Температура плавления, °С | | λ $\frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$ | $\frac{\text{кал}}{\text{см}^3 \cdot \text{с}}$ | α $\frac{\text{см}^2}{\text{с}}$ | $\alpha \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{с}}$ | $\nu_{\text{пл}}$ $\frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{см}^2}$ |
|------------------------------|---------------------------|------|--|---|--|---|--|
| | С | Л | | | | | |
| Малоуглеродистая сталь | 1485 | 1525 | 1,14 | 0,096 | 0,085 | 12,9-14,7 | 65 |
| Углеродистая сталь | 1485 | 1515 | 1,14 | 0,09-0,11 | 0,079-0,096 | 11,65 | 65 |
| Низколегированная сталь | 1485 | 1515 | 1,14 | 0,08-0,09 | 0,070-0,079 | 11,0 | 65 |
| Хромистая сталь | 1400 | 1500 | 1,14 | 0,06 | 0,053 | 13,2 | 60 |
| Хромоникелевая сталь | 660 | - | 0,65 | 0,04-0,06 | 0,035-0,053 | 19,4 | 60 |
| Алюминий | 660 | - | 0,65 | 0,63 | 1,00 | 22...28,6 | 100 |
| Алюминиевые сплавы АМГ5 | 565 | 655 | 0,65 | 0,33-0,32 | 0,5 - 0,51 | 24,7...26,5 | 100 |
| АМГ6, ВАН-1 | 1083 | - | 0,95 | 0,90 | 0,95 | 16,4-17,5 | 50 |
| Медь | 1680 | 1710 | 0,84-0,85 | 0,042 | 0,05 | 8,0...10,2 | 60 |
| Титан ВТ-1 | - | - | - | - | - | - | - |
| Титановые сплавы ОТ-4, ВТ5-8 | 1315 | - | 0,85-0,84 | 0,034 | 0,04 | 8,0...9,8 | 60 |
| Бериллий | - | - | 1,1 | 0,45 | 0,41 | 11,5 | - |
| Магниеые сплав | - | - | 0,46 | 0,32 | 0,69 | 23,7...32,0 | 70 |

Для источников нагрева, движущихся с относительно небольшой скоростью и без существенной теплоотдачи (например, при сварке на весу, без подкладок и прижимов) ширину шва можно определить по номограмме, рис. 2.3 [35].



Р и с.2.2. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и шва сварного соединения

Для этого необходимо вычислить отношение

$$\frac{T_{пл} 2\pi\lambda\delta}{q_{эф}} \quad (7)$$

и по нему из номограммы найти значение половины безразмерной ширины зоны плавления. Тогда ширина шва e будет равна $e = 2\ell$.

Расчетная ширина шва сравнивается с заданной, и в случае значительного отклонения от нее (более, чем на 30-40%) необходимо провести расчет силы сварочного тока с учетом теплоотдачи или ограниченности размеров свариваемых деталей.

Например, для неограниченной пластины параметры процесса и зоны плавления представляются в безразмерных величинах:

$$\tau_0 = \frac{q_{эф}}{2\pi\lambda\delta}; \quad (8)$$

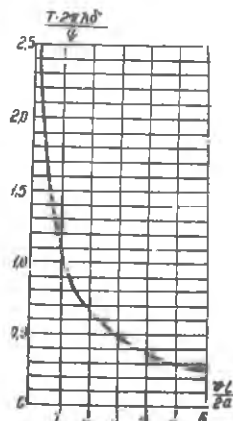
$$\theta = \frac{T_{пл}}{T_0}; \quad (9)$$

$$\xi = \sqrt{1 + \frac{4a\delta}{v_{св}^2}}; \quad (10)$$

$$X = \frac{v_{св} x}{2a}; \quad (11)$$

$$y = \frac{v_{св} y}{2a}, \quad (12)$$

где T_0 - начальная температура, °С;
 θ - безразмерная температура;



Р и с.2.3. Номограмма для определения ширины зоны проплавления пластины $e = 2y$ движущимся источником тепла [35]

x и y координаты, а X и Y безразмерные координаты точки, в которой определяется температура.

По номограмме поля максимальных температур в безразмерных координатах ([13], рис. 12) находим значение половины безразмерной ширины шва Y , определяем значение координаты $y = \frac{Y}{v_{св}} 2a$, а по ней и ширину шва e .

$$e = 2y = 4 \frac{Ya}{v_{св}} \text{ см.} \quad (13)$$

Для быстродвижущейся дуги при сварке листов встык (без учета теплоотдачи) ширину шва определяют по формуле (3).

Скорость подачи электродной или присадочной проволоки определяется по формуле

$$v_{под} = \frac{36 v_{св} F_H}{d_{пр}^2} \text{ м/ч,} \quad (14)$$

где F_H - площадь наплавки, см^2 ;
 $d_{пр}$ - диаметр проволоки, см.

Площадь наплавки определяется графическим путем (см. рис. 2.2), а диаметром проволоки задаются по справочным данным.

Покажем пользование приведенной методикой на двух численных примерах.

Пример I. Автоматическая аргонно-дуговая сварка неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки встык за один проход на стальной подкладке двух листов толщиной $S = S_1 = 6$ мм из сплава АМг6. Площадь зоны проплавления $F_{пр} = 0,56 \text{ см}^2$, зоны наплавки $F_H = 0,2 \text{ см}^2$; $l = 12 \text{ мм} = 1,2 \text{ см}$.

Режим сварки: $v_{св} = 15 \text{ м/ч} = 0,4 \text{ см/с}$; $u_d = 168$; $\eta_{ар} = 0,6$;
 $d_{пр} = 3 \text{ мм} = 0,3 \text{ см}$. Теплофизические свойства основного металла (см. табл. 2.7):

$c_{ст} = 0,65 \text{ кал/см}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; $\lambda = 0,33 \text{ кал/см} \cdot \text{с}^\circ\text{C}$; $\alpha = 0,5 \text{ см}^2/\text{с}$;
 $T_{пл} = 620^\circ\text{C}$; $\gamma = 2,78 \text{ г/см}^3$; $L_{пл} = 100 \text{ кал/г}$.

Так как скорость сварки близка к критической ($v_{кр} = 25 \text{ м/ч}$) выбираем схему нагрева пластины медленно движущимся источником.

Теплосодержание сварочной ванны

$$Q_{зв} = c_{ст} T_{пл} + \gamma L_{пл} + c_{ст} T_{пер},$$

$$Q_{зв} = 0,65 \cdot 620 + 2,78 \cdot 100 + 0,65 \cdot 0,2 \cdot 620 = 760 \text{ кал/см}^3.$$

Сварочный ток

$$I_{св} = \frac{20 \text{ Q} \sqrt{v_{св} \alpha S F_{по}}}{C_d \eta_u} = \frac{20 \cdot 760 \sqrt{0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,56}}{16 \cdot 0,6} = 430 \text{ A}.$$

Термический КПД η_t

$$\eta_t = \frac{4,2 F_{пр} v_{св} Q_s}{C_d \eta_u I_{св}} = \frac{4,2 \cdot 0,56 \cdot 0,4 \cdot 760}{16 \cdot 0,6 \cdot 430} = 0,17.$$

Эффективная мощность дуги

$$q_{эф} = 0,24 \eta_u I_{св} C_d = 0,24 \cdot 0,6 \cdot 430 \cdot 16 = 1000 \text{ кал / с};$$

$$\frac{T_{пл} 2 \pi \lambda S}{q_{эф}} = \frac{620 \cdot 2 \cdot 0,33 \cdot 0,6}{1000} = 0,77.$$

По номограмме (см. рис.2.3) находим Y

$$Y = \frac{v_{св} y}{2a} = 1,4, \text{ откуда}$$

$$y = \frac{2a Y}{v_{св}} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 1,4}{0,4} = 3,5 \text{ см}.$$

Ширина шва $e = 2y = 2 \cdot 3,5 = 7 \text{ см} = 70 \text{ мм}$.

Найденное значение ширины шва значительно отличается от заданной $e = 12 \text{ мм}$, что указывает на необходимость учета теплоотвода в подкладку.

Определяем коэффициент температуротдачи

$$\theta = \frac{2\alpha}{c \gamma S} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{0,65 \cdot 0,6} = 0,2 \text{ c}^{-1}.$$

Определяем ξ

$$\xi = \sqrt{1 + \frac{4\alpha b}{v_{св} \theta^2}} = \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 0,2}{0,4^2}} = 1,9.$$

Определяем T_0 и θ

$$T_0 = \frac{q_{зв}}{2\pi \lambda \delta} = \frac{1000}{2\pi \cdot 0,33 \cdot 0,6} = 800^\circ\text{C};$$

$$\theta = \frac{T_{пл}}{T_0} = \frac{620}{800} = 0,76.$$

По номограмме ([13], рис. 12) находим

$$Y = \frac{v_{св} \eta}{2a} = 0,3$$

и определяем ширину шва

$$e = 2y = 4 \frac{aY}{v_{св}} = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 0,3}{0,4} = 1,5 \text{ см} = 15 \text{ мм}.$$

Расчетное значение ширины шва близко к заданному ($e = 12 \text{ мм}$).

Определяем скорость подачи присадочной проволоки

$$v_{под} = \frac{36 v_{св} F_H}{d_{пр}^2} = \frac{36 \cdot 0,4 \cdot 0,2}{0,3^2} = 32 \text{ м/ч}.$$

Пример 2. Автоматическая аргоно-дуговая сварка на весу плавящимся электродом встык за один проход листов из нержавеющей стали Х18Н10Т толщиной $\delta = s_1 = 3 \text{ мм} = 0,3 \text{ см}$.

Площадь проплавления $F_{пр} = 0,14 \text{ см}^2$, площадь наплавки $F_H = 0,04 \text{ см}^2$; $l = 6 \text{ мм}$.

Режим сварки: $v_{св} = 72 \text{ м/ч} = 2 \text{ см/с}$, $U_d = 24 \text{ В}$; $\eta_{зв} = 0,74$; $d_{пр} = 2 \text{ мм} = 0,2 \text{ см}$.

Теплофизические свойства основного металла (см. табл. 2.?):

$$c\gamma = 1,14 \text{ кал/см}^3 \cdot ^\circ\text{C}; \quad \alpha = 0,06 \text{ кал/см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}; \quad a = 0,05 \text{ см}^2/\text{с}$$

$$\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3; \quad T_{пл} = 1400^\circ\text{C}; \quad L_{пл} = 65 \text{ кал/г}.$$

Так как скорость сварки превышает критическую для данного материала, принимаем схему сварки пластины быстро движущимся источником ($\eta_t = 0,484$) без теплоотдачи.

Теплосодержание сварочной ванны

$$Q_{в} = c\gamma T_{пл} + \gamma L_{пл} + c\gamma 0,2 T_{пл} = 1,14 \cdot 1400 + 7,8 \cdot 65 + 1,14 \cdot 280 = 2423 \frac{\text{ккал}}{\text{см}^3}$$

Сила сварочного тока

$$I_{св} = \frac{4,2 Q_{в} F_{пр} v_{св}}{U_d \eta_{зв} \eta_t} = \frac{4,2 \cdot 2423 \cdot 0,14 \cdot 2}{24 \cdot 0,74 \cdot 0,484} = 310 \text{ А}.$$

Эффективная мощность дуги

$$q_{эф} = 0,24 \eta_{из} J_{св} U_{д} = 0,24 \cdot 0,74 \cdot 310 \cdot 24 = 1320 \text{ кал/с.}$$

Расчетная ширина шва e

$$e = 2y = \frac{0,484 q_{эф}}{v_{св} c_{г} \Delta T_{пл}} = \frac{0,484 \cdot 1320}{2 \cdot 1,14 \cdot 0,3 \cdot 1400} = 0,67 \text{ см} = 6,7 \text{ мм.}$$

Скорость подачи электродной проволоки

$$v_{под} = \frac{36 v_{св}^2 F_{н}}{d_{пр}^2} = \frac{36 \cdot 2 \cdot 0,04}{0,2^2} = 72 \text{ м/ч.}$$

2.5.3 Расчетное определение основных параметров импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом

Главными факторами, определяющими поведение жидкого металла на торце электрода, являются сила поверхностного натяжения, удерживающая каплю на торце, и продольная составляющая электродинамической силы стремящаяся оторвать каплю (рис. 2.4). Условием отрыва и переноса капли вдоль оси электрода по направлению от торца электрода к детали является неравенство:

$$F_{э\theta} > F_{л.н.}$$

Обе эти силы зависят от величины сварочного тока: с увеличением сварочного тока электродинамическая сила увеличивается, а сила поверхностного натяжения падает из-за роста температуры жидкого металла капли.

Выражение для температурного поля электрода имеет вид [18]:

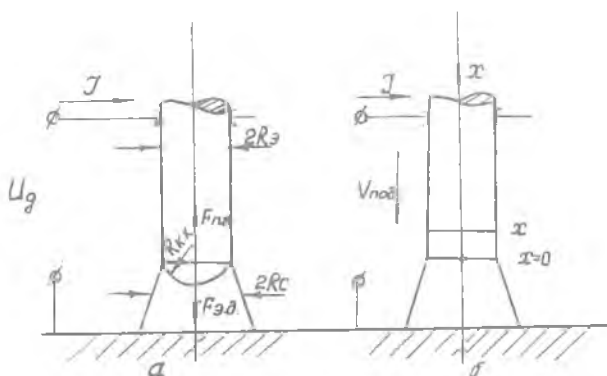
$$T_{x,t} = T_{пл} e^{-\alpha x} e^{\beta t} \quad \text{с,} \quad (15)$$

где $T_{x,t}$ - температура электрода в сечении с координатой x в момент времени t (рис. 2.5,а).

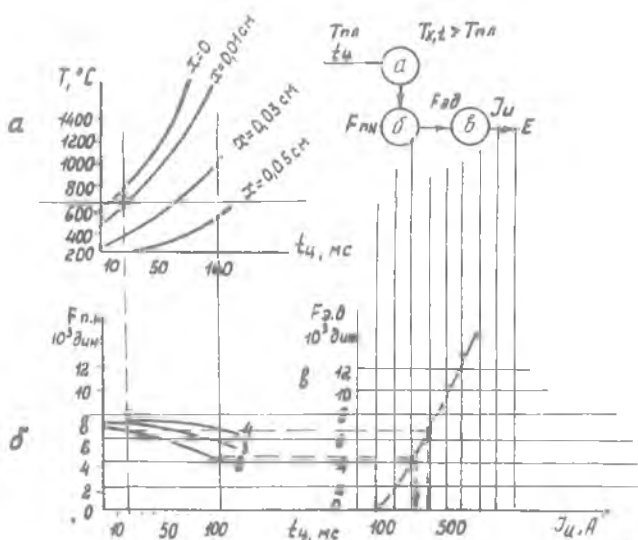
Торец электрода в момент времени $t = 0$ непосредственно после отрыва предыдущей капли имеет координату $x = 0$ (рис. 2.5,б);

$T_{пл}$ - температура плавления электрода, $^{\circ}\text{C}$.

Показатели степени α и β зависят от теплофизических свойств материала электрода и параметров режима сварки:



Р и с. 2.4. К расчету тока импульса



Р и с. 2.5. Температурное поле вылета электрода
зависимость $F_{\text{пл}}$ от температуры расплавленного металла $T_{\text{э}, t} (^\circ\text{C})$; зависимость $F_{\text{эб}}$ от тока импульса (в) [18]

$$\alpha = \frac{\eta_{эф} \lambda_g J_{св}}{\lambda S T_{эл}} \text{ см}^{-1}; \quad \beta = \alpha (\alpha a - v_{под}) \text{ с}^{-1},$$

где $\eta_{эф}$ — эффективный КПД нагрева электрода;
 λ — коэффициент теплопроводности материала электрода, кал/см·с °С;
 S — площадь поперечного сечения электрода, см²;
 a — коэффициент температуропроводности материала электрода, см²/с;
 $v_{под}$ — скорость подачи электродной проволоки, см/с.

Сила поверхностного натяжения F н.н (рис. 2.5,б) в предположении шаровой поверхности капли определяется по формуле Лапласа:

$$F_{н.н} = \frac{\sigma 2\pi R_3^2}{R_{к.к}}, \quad (16)$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения, дин/см;
 R_3 — радиус электрода, см;
 $R_{к.к}$ — радиус кривизны поверхности капли, см (рис. 2.4,а).

Коэффициент поверхностного натяжения жидкого металла почти линейно убывает с повышением температуры $T_{х,т}$, обращаясь в нуль при критической температуре $T_{кр}$, равной 3/2 температуры кипения металла.

Коэффициент поверхностного натяжения определяется по формуле Этвеша:

$$\sigma = 2,1 \frac{T_{кр} - T_{х,т}}{\left(\frac{M}{\delta}\right)^{2/3}} \text{ дин/см}, \quad (17)$$

где M — молекулярная масса металла электрода (сумма атомных элементов);
 δ — плотность жидкого металла, г/см³;
 $T_{кр}, T_{х,т}$ — критическая температура и температура электрода в сечении, К.

Таким образом, сила поверхностного натяжения может быть определена из выражения:

$$F_{н.н} = \frac{4,2 (T_{кр} - T_{х,т}) \pi R_3^2}{\left(\frac{M}{\delta}\right)^{2/3} R_{к.к}} \text{ дин}. \quad (18)$$

Электродинамическая сила, сжимающая каплю и стремящаяся оторвать ее от торца электрода, определяется по формуле

$$F_{э.д} = \frac{\mu J^2}{4\pi} \ell_n \frac{R_c}{R_э} \quad \text{Н} , \quad (19)$$

где μ - магнитная проницаемость жидкого металла;
 R_c - средний радиус столба дуги, см;
 J - ток в дуге, А .

Так как магнитная проницаемость жидких металлов близка к магнитной проницаемости вакуума $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ Гн/м, а $1\text{н} = 10^5$ дин, то выражение переписывается так:

$$F_{э.д} = 10^{-2} J^2 \ell_n \frac{R_c}{R_э} \quad \text{дин} . \quad (20)$$

Как следует из выражения (20), электродинамическая сила пропорциональна квадрату сварочного тока и радиусу столба дуги и обратно пропорциональна радиусу электрода (рис. 2,5,в). Направление электродинамической силы не зависит от направления тока и определяется отношением радиуса столба дуги к радиусу электрода: она всегда направлена от меньшего сечения зоны переменного сечения проводника к большему, при $R_c = R_э$ она обращается в нуль.

Для устойчивого переноса капли в любом пространственном положении электродинамическая сила должна превышать силу поверхностного натяжения в 1,5 - 2,0 раза, тогда, приняв $F_{э.д} = 2 F_{п.н}$, ток в импульсе определится

$$J_{\text{имп. расч}} = 10 \sqrt{\frac{2 F_{п.н}}{\ell_n \frac{R_c}{R_э}}} \quad \text{А} . \quad (21)$$

Расчетные значения тока импульса сопоставляются с табличными, величина которых устанавливается с учетом марки материала электрода, его диаметра, пространственного положения выполняемого шва, защитного газа, рода сварочного тока и его полярности, силы тока дежурной дуги [17, табл. 12, 16, 17, 18].

Температурное поле вылета электрода, зависимость силы поверхностного натяжения от длительности цикла сварки и электродинамической силы от тока импульса показаны на рис. 2.5 (аргонно-дуговая сварка на постоянном токе обратной полярности электродной проволокой АМг6 диаметром 1,6 мм, ток дежурной дуги 80 А, напряжение на дуге 18В, отношение $\frac{R_c}{R_э} = 1,5$) [18].

Частота переноса капель диаметром $d_{др}$ определится из выражения:

$$f_{\kappa} = \frac{1,9 \gamma_{\text{эф}} 0,24 \mu_{\text{д.д}} J_{\text{д.д}} a}{\lambda T_{\text{пл}} d_{\kappa}^3} \text{ с}^{-1}. \quad (22)$$

С учетом значений теплофизических характеристик заданного материала электрода и $\gamma_{\text{эф}}$ источника нагрева формулу можно переписать в виде:

$$f_{\kappa} = K N_{\text{эф}}, \quad (23)$$

где

$$K = \frac{1,9 a}{\lambda T_{\text{пл}} d_{\kappa}^3}; \quad N_{\text{эф}} = \gamma_{\text{эф}} 0,24 \mu_{\text{д.д}} J_{\text{д.д}}.$$

Значения коэффициента K для материалов АМГ6 и Х18Н10Т и различных диаметров капель приведены в табл. 2.8.

Т а б л и ц а 2.8

Коэффициент K для АМГ6 и Х18Н10Т

| Материал электрода | Диаметр капли, мм | | |
|--------------------|-------------------|------|------|
| | 1,0 | 1,3 | 1,6 |
| АМГ6 | 0,87 | 0,4 | 0,2 |
| Х18Н10Т | 0,76 | 0,35 | 0,18 |

Рекомендуется следующая методика ориентировочного расчета тока импульса и частоты переноса капель (частоты следования импульсов тока), пользование которой покажем на числовом примере.

Аргонно-дуговая сварка электродной проволокой из сплава АМГ6М диаметром 1,6 мм на постоянном токе обратной полярности. Ток дежурной дуги $J_{\text{д.д}} = 80$ А, напряжение дежурной дуги $\mu_{\text{д.д}} = 18$ В.

1. Задаемся диаметром капель, величина которого не должна быть больше диаметра электрода. Пусть диаметр капли равен 1,0 мм. Тогда $R_{\kappa.\kappa} = 0,05$ см.

2. Определяем $F_{\text{п.н}}$, принимая значения σ для данного материала электрода независимыми от температуры. Для алюминиевых сплавов можно принять $\sigma = 445$ дин/см; для сталей $\sigma = 1300$ дин/см [17]:

$$F_{\text{п.н}} = \sigma 2\pi \frac{R_{\text{д}}^2}{R_{\kappa.\kappa}} = 445 2\pi \frac{0,08^2}{0,05} = 358 \text{ дин/см.}$$

3. Задаемся значением отношения $\frac{R_c}{R_э} = 1,5$ и значением $F_{э.д} = 2 F_{п.н}$ и определяем $J_{и.расч}$

$$J_{и.расч} = 10 \sqrt{\frac{2 F_{п.н}}{l_n \frac{R_c}{R_э}}} = 10 \sqrt{\frac{2 \cdot 358}{l_n 1,5}} = 565 \text{ А.}$$

4. Определяем частоту переноса капель

$$f_k = K N_{эф} = 0,87 \cdot 0,2 \cdot 0,24 \cdot 18 \cdot 80 = 60 \text{ с}^{-1}.$$

Полученные значения $J_{и.расч}$ и f_k хорошо согласуются с табличными данными [17, табл. 16]:

$$J_{и.табл} = 500 - 600 \text{ А, } f = 50 \text{ с}^{-1}.$$

2.5.4. Выбор сварочного оборудования, стандартной и нормализованной сборочно-сварочной оснастки

Сварочное оборудование выбирается в зависимости от вида и параметров режима сварки, предусмотренных технологическим процессом.

Различают основное сварочное оборудование (источники питания сварочной дуги, автоматы и полуавтоматы для дуговой сварки, машины для контактной сварки и др.) и вспомогательное (манипуляторы, вращатели, оборудование для крепления и перемещения сварочных головок и др.).

Сборочно-сварочная оснастка подразделяется на нормализованную, универсально-сборочную и специальную.

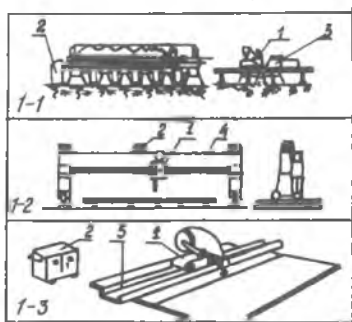


Рис. 2.6. Компоненты для сварки прямолинейных швов на плоских поверхностях: 1-автомат сварочный; 2-источник сварочного тока; 3-стенд; 4-портал; 5-направляющие.

На рис. 2.6 приведены типовые компоновки оборудования для автоматической электродуговой и контактной сварки [19]. Применение этих компоновок особенно целесообразно в мелкосерийном производстве с частой сменой изделий. Состав нормализованных элементов, входящих в компоновки, определяется классификационной группой сварных швов (табл. 15), материалом и размерами изделия.

Сварка деталей одной классификационной группы производится на однотипных установках, отличающихся

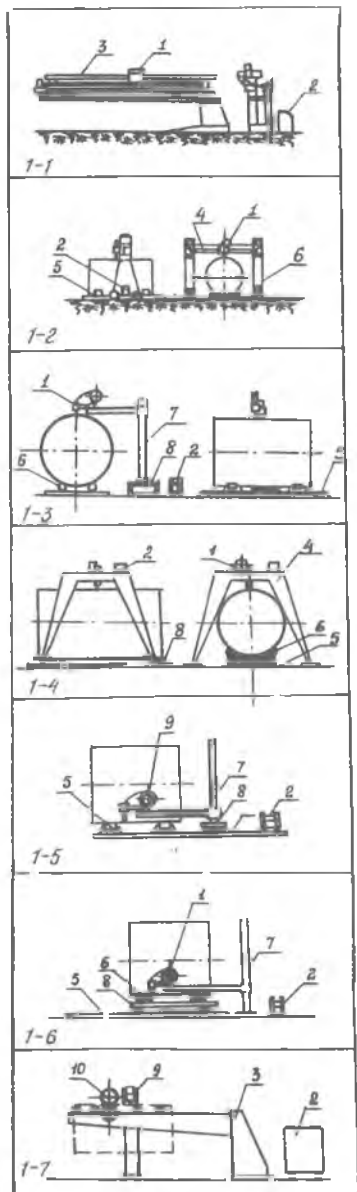
только способом сварки. Так, например, дуговая сварка прямолинейных швов осуществляется на типовой сварочной установке, но сварочные головки или автоматы могут применяться различного назначения в зависимости от способа сварки (для низколегированных сталей - головки для сварки постоянным током плавящимся электродом в среде углекислого газа, для алюминиевых сплавов небольших толщин - головки для аргоно-дуговой сварки вольфрамовым электродом переменным током и т.д.).

Первая цифра номера компоновки соответствует классификационной группе сварных швов, а вторая - разновидности формы и габаритов изделия.

Компоновки I-I - I-3 (рис. 2.6) предназначены для сварки прямолинейных швов на плоских поверхностях. Сварка осуществляется при неподвижных листовых конструкциях с перемещением автомата по направляющим стэнда (I-I), подвижного портала (I-2) и по съемным направляющим, закрепленным на поверхности листа (I-3).

Компоновки I-I - I-7 (рис. 2.7) применяются для сварки прямолинейных швов цилиндрических и конических обечаек. Компоновка I-I предусматривает крепление изделия на консольной балке и перемещение сварочного автомата по направляющим. В компоновке I-2 изделие неподвижно, сварочный автомат перемещается по направляющим портала и вместе с порталом - вдоль изделия. В компоновке I-3 вместо портала использован полупортал. В компоновке I-4 портал неподвижен, перемещается изделие. Компоновки I-5 и I-6 позволяют сваривать швы изнутри при перемещении сварочного автомата по направляющим консоли и неподвижном изделии I-5 или при перемещении изделия и неподвижной консоли I-6. В компоновке I-5 колонна с консолью имеет возможность перемещаться. Компоновка I-7 с консольной балкой предназначена для сварки обечаек малого диаметра и труб.

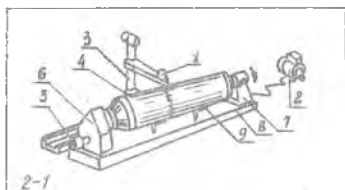
На рис. 2.8 представлены компоновки 2-I - 2-9, предназначенные для сварки кольцевых замкнутых швов на телах вращения типа обечаек и труб. Компоновка 2-I предназначена для сварки тонкостенных обечаек, труб, оболочек и других узлов геометрическая ось которых при сварке горизонтальна (или параллельна поверхности станины). В процессе сварки изделие вращается, сварочная головка неподвижна. Головка установлена на консоли колонны (полупортал), которая может перемещаться вдоль изделия. Если изделие имеет значительную длину и вес, для поддержания его применяют ливеты. Компоновки 2-2 и 2-3 применяются для сварки толстостенных жестких уз-



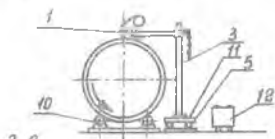
лов. Вращение узлов осуществляется с помощью роликовых манипуляторов. Компоновки 2-4 и 2-5 применяются для сварки неповоротных стыков труб, соответственно небольших и больших диаметров. В процессе сварки перемещается сварочная головка. В первой компоновке используют автомат типа АТВ, с незамкнутыми направляющими, во второй - направляющая выполнена в виде кольца. Компоновки 2-6 и 2-7 предназначены для сварки внутренних кольцевых швов. Первая из них применяется для сварки тонкостенных, а вторая - для сварки толстостенных жестких изделий. В компоновках 2-8 и 2-9 изделие закрепляется на манипуляторе и ось его может занимать различное пространственное положение. Изделие в процессе сварки вращается вокруг этой наклонной оси, за счет чего обеспечивается горизонтальность поверхности в месте сварки. Компоновка 2-8 применяется при сварке изделий значительной длины и имеет дополнительно поддерживающую стойку.

Компоновка 2-10 (рис. 2.9) предназначена для сборки и сварки крупногабаритных сферических днац,

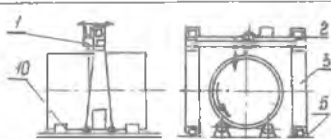
Р и с.2.7. Компоновки для сварки прямолинейных швов цилиндрических и конических обечаек: 1-автомат сварочный; 2-источник сварочного тока; 3-стенд; 4-портал; 5-направляющие; 6-манипулятор роликовый; 7-крансошь с колонной; 8-тележка; 9-головка сварочная; 10-механизм подающий



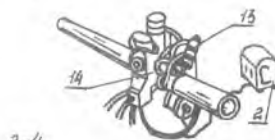
2-1



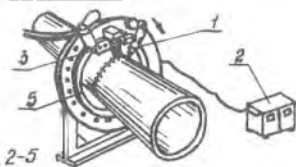
2-2



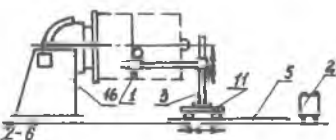
2-3



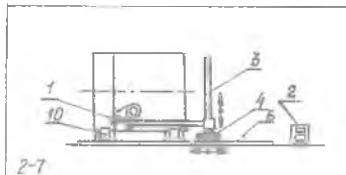
2-4



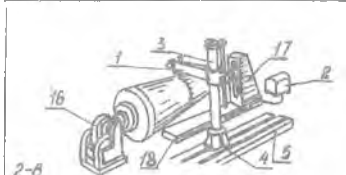
2-5



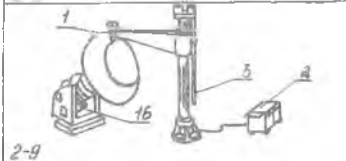
2-6



2-7



2-8

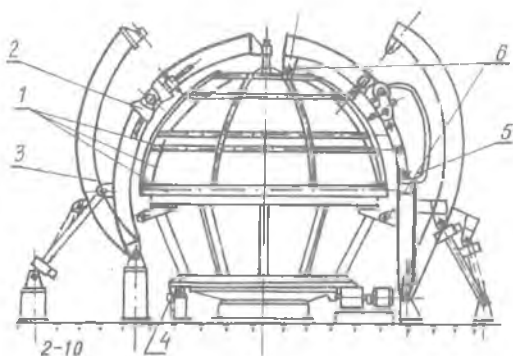


2-9

Р и с. 2.8. Компоненка для сварки кольцевых замкнутых швов на телах вращения типа обечаек и труб: 1 - автомат сварочного тока; 2-источник сварочного тока; 3-колонна с консолью; 4-тележка; 5-направляющие; 6 -бабка приводная; 7-бабка поддерживающая; 8-станина; 9-лишты поддерживающие; 10-манипулятор роликовый; 11-тележка; 12-портал; 13-головка сварочная; 14-механизм вращения; 15-ка-ретка; 16-манипулятор; 17-стойка поддерживающая; 18-основание

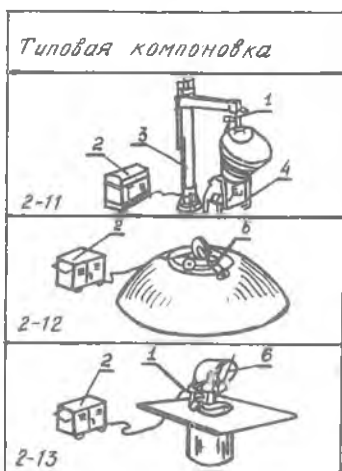
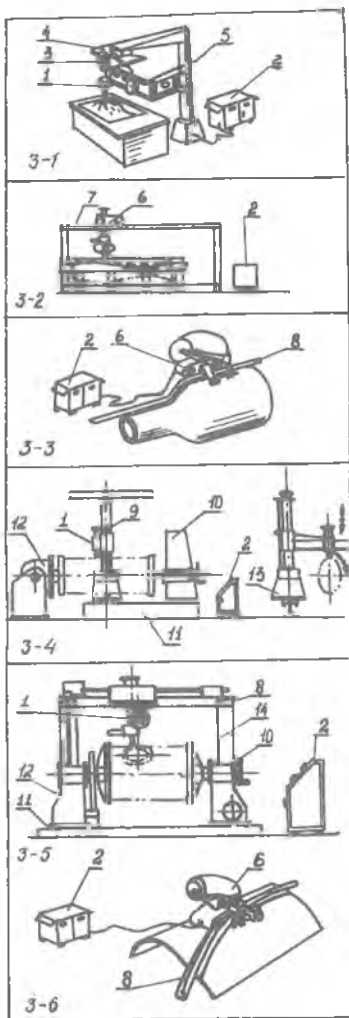
состоящих из лепестков, доньшка и силового шпангоута. Такая компоновка предполагает применение импульсно-дуговой сварки. Фрезерная головка и сварочный автомат при обработке и сварке меридиальных швов перемещаются по направляющим, эквидистантным меридианным швам. При обработке и сварке кольцевых швов вращается изделие, фрезерная и сварочная головки неподвижны.

характерным для компоновок 2.11-2.13 (рис.2.10) является перемещение сварочной головки в процессе сварки; изделие остается неподвижным. Такие компоновки применяются для сварки кольцевых швов сравнительно небольшого диаметра на сферах и плоских поверхностях.



Р и с.2.9. Компоновка для сварки крупногабаритных сферических днищ: 1-сферический каркас; 2-фрезерная головка; 3-направляющая для фрезерной головки; 4-устройство для фиксирования угла поворота головки; 5-сварочный автомат; 6 - фиксирующие замки

На рис. 2.11 представлены компоновки 3.1 - 3.6, предназначенные для сварки криволинейных швов на различного типа узлах. В компоновке 3-1 сварочная головка связана с копировальной, перемещающейся по копиру, что дает возможность сваривать криволинейные швы на плоских поверхностях. В компоновке подобного типа возможно применение фотокопировальных головок, работающих по чертежу, или устройств с программным управлением. В компоновке 3-2 сварочный автомат снабжен следящим устройством для копирования поверхности изде-



Р и с.2.10.Компоновка для сварки кольцевых швов на сферических и плоских поверхностях:

1-головка сварочная; 2-источник сварочного тока; 3-колонна с консолью; 4-манипулятор; 5-автомат сварочный; 6-механизм вращения

Р и с.2.11.Компоновка для сварки криволинейных швов:1-головка сварочная;2-источник сварочного тока;3-копировальная головка;4-копир;5-механизм перемещения;6-автомат сварочный; 7-стенд;8-направляющая;9-колонна с консолью;10-бабка поддерживающая;11-станина;12-бабка приводная;13-тележка;14-стойка

дия и сохранения заданного угла наклона сварочной головки относительно поверхности в любой точке свариваемого стыка. При сварке столбчатых конструкций используется компоновка 3-3. В ней для перемещения сварочного автомата (тракторного типа) применена направляющая, кривизна которой одинакова с кривизной свариваемого

шва. Компоновка 3 - 4 предназначена для сварки деталей некруглой формы с замкнутыми криволинейными швами, расположенными в одной плоскости. Постоянная скорость сварки обеспечивается путем вращения изделия с угловой скоростью, изменяющейся по определенному заданному закону. Характер изменений угловой скорости зависит от формы изделия. Наибольшее применение здесь могут найти устройства с программным управлением. Конструкция сварочной головки должна содержать следующие устройства, обеспечивающие вертикальные перемещения и заданный угол наклона сварочной головки.

Компоновки 3 - 5 и 3 - 6 предназначены для сварки деталей с криволинейными швами, расположенными в разных плоскостях. Процесс сварки таких деталей мало автоматизирован. В компоновке 3-5 предусмотрены устройства для перемещения свариваемого изделия и сварочной головки по заранее заданному закону. В компоновке возможно применение программного управления процессом. В компоновке 3 - 6 для перемещения сварочного автомата (тракторного типа) предусмотрена направляющая, кривизна которой эквидистантна кривизне свариваемого шва.

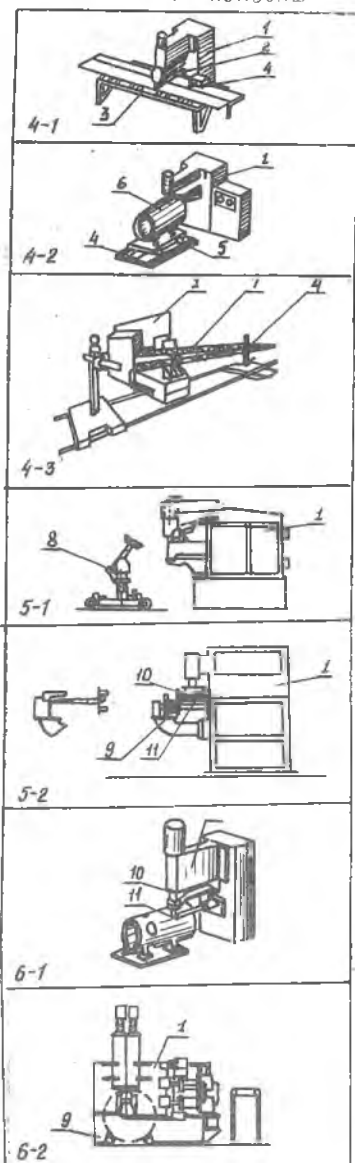
Типовые компоновки для контактной сварки деталей и узлов приведены на рис. 2.12. Особенностью этих компоновок является использование в качестве исполнительных элементов некоторых универсальных сварочных машин, выпускаемых промышленностью серийно. Компоновка 4 - 1 позволяет с помощью шагового механизма осуществлять автоматическое перемещение плоских узлов на шаг между точками сварного шва относительно сварочной машины. Компоновка 4 - 2 позволяет такое перемещение осуществлять при сварке узлов типа обечаек. В компоновке 4 - 3 кроме автоматического перемещения предусмотрено выравнивание поверхности свариваемого изделия в месте постановки точки нормально к оси электродов.

Компоновки 5 - 1 и 5 - 2 предназначены для точечной сварки кольцевых швов на обечайках, сильфонах, днищах, предусматривается автоматическое перемещение изделий на шаг между точками.

Компоновка 6 - 1 применяется для сварки деталей и узлов с криволинейными швами, расположенными в разных плоскостях.

Компоновка 6 - 2 предназначена для стыковой сварки шпангоутов и других деталей из прессованных профилей.

Типовая компоновка



В случае невозможности или нецелесообразности использования универсальной, нормализованной оснастки проектируется специальная (см. разд. 3).

Технические характеристики сварочного оборудования приведены в [5, ч. 2] и каталогах [20].

Основные технические характеристики выбранного сварочного оборудования и оснастки необходимо привести в пояснительной записке.

Оснастка, необходимая для выполнения технологического процесса сварки, заносится в ведомость оснастки.

2.5.5. Нормирование технологического процесса

Для определения трудоемкости, цикла и стоимости выполнения сварочных работ необходимо провести нормирование технологического процесса сборки, прихватки и сварки.

Норма времени состоит из следующих основных частей: подготовительно-заключительного времени ($T_{п.з}$), основного (T_0), вспомогательного ($T_в$), времени обслуживания рабочего места ($T_{обс}$), и времени на отдых и личные надобности ($T_{от.л.}$).

Р и с. 2.12. Компоновка для контактной сварки: 1—машина сварочная; 2—головка сменная; 3—рольганг; 4—шаговый механизм; 5—кантователь; 6—электродержатель сменный; 7—выравнивающее устройство; 8—манипулятор; 9—поддерживающее устройство; 10—головка сварочная верхняя; 11—головка сварочная нижняя

Подготовительно-заключительное время для всех видов сварки включает затраты времени на получение задания и сварочных материалов, ознакомление с работой, получение и сдачу инструментов и приспособлений, настройку оборудования на заданный режим, установление и опробование режимов сварки.

Основное время затрачивается непосредственно на образование сварного соединения. В таблицах основного времени сварки плавлением обычно задается время на выполнение одного погонного метра шва, а при контактной сварке оно определяется по производительности сварочной машины: при точечной сварке - на одну точку; при шовной сварке - на погонный метр шва; при стыковой сварке - на один стык.

Вспомогательное время складывается из затрат времени, зависящих от длины шва и типа сварочного оборудования. В него входит, например, время на зачистку шва от шлака и окисных пленок, проверка правильности установки сварочного автомата по оси шва, смена кассеты с электродной или сварочной проволокой и другие работы.

Время обслуживания рабочего места определяется в процентах от оперативного времени и затрачивается на подготовку оборудования к работе и его уборку к концу смены, включение, регулирование и включение подачи газа, воды; смену и заточку вольфрамового электрода и др. работы.

Время на отдых и личные надобности также выражается в процентах от оперативного времени в зависимости от условий выполнения сварки: положения сварщика при выполнении работы, положения шва в пространстве и др.

Нормирование технологического процесса производится по соответствующим нормативам времени [21], [22].

2.5.6. Расчет деформаций узла, вызываемых сваркой

Основной причиной появления сварочных деформаций и напряжений является неравномерный нагрев металла в зоне сварки и развитие высокотемпературных пластических деформаций. Усилия, возникающие при остывании, приводят к укорочению конструкции, ее изгибу, потере устойчивости и другим изменениям, которые могут влиять на технологичность, точность и работоспособность сварной конструкции.

Величина остаточной деформации зависит от марки и толщины материала, метода сварки, типа соединения, конструкции узла, применяемой оснастки и других факторов. Чтобы выполнить сварную конструкцию в допусках, заданных чертежом, необходимо произвести расчет ожидаемой деформации укорочения в продольном и поперечном направлениях и с учетом этого укорочения назначить припуски на усадку. Изменение размеров деталей оформляются в требованиях на их поставку.

Продольная усадка складывается из литейной, т.е. усадки при остывании расплавленного металла шва, и усадки прилегающих зон основного металла, нагретых выше температуры предела текучести. Величина полной продольной усадки соединения встык зависит от длины шва, ширины зоны разогрева (см. раздел 2.5.2), продольной жесткости участков конструкции, противодействующих развитию усадки и др.

Продольная усадка при сварке пластин встык, если не было деформации изгиба в процессе сварки, определяется по формуле:

$$\Delta_{пр} = \frac{P_{yc} L}{EF}, \quad (24)$$

где $P_{yc} = \sigma_s F$ — усадочная сила, зависящая от режима сварки и свойств металла;
 L — длина сварного шва;
 σ_s, E — соответственно предел текучести и модуль упругости свариваемого металла;
 F — площадь поперечного сечения зоны разогрева.

Усадочную силу P_{yc} (кгс) можно вычислить так же через эффективную мощность сварочного источника тепла $q_{эф}$ (кал/с) и скорость сварки $v_{св}$ (см/с) [23]. Для случая однопроходной сварки низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей с пределом текучести до 30 кгс/мм² используют формулу

$$P_{yc} = (4-7) \frac{q_{эф}}{v_{св}}. \quad (25)$$

Численный коэффициент в формуле (25), имеющий размерность кгс.см/кал, зависит от величины удельной погонной энергии $\frac{q_{эф}}{v_{св}}$. При малых ее значениях порядка 1000-1500 кал/см², он близок к 7, при значениях 5000-7000 кал/см² — близок к 4, при значении 1000 - 5000 кал/см² коэффициент находят линейной интерполяцией.

Для конструкций из алюминиевого сплава АМг6 усадочная сила в стыковых соединениях толщиной 5-12 мм при однопроходной сварке

$$P_{y.c} = 6 \frac{q_{зр}}{v_{св}}, \quad (26)$$

а в тавровых соединениях такой же толщины с одним угловым швом

$$P_{y.c} = 7 \frac{q_{зр}}{v_{св}}. \quad (27)$$

При сварке в тавр двумя угловыми швами, укладываемыми одновременно, зона пластических деформаций от первого шва F_1 увеличивается на ΔF_2 . В качестве расчетной для сталей принимают усадочную силу одного шва, увеличенную примерно на 20-40%

$$P_{y.c} = (1,2 - 1,4) P_{y.c}. \quad (28)$$

Продольная усадка может привести к изгибу детали в плоскости. Например, при сварке встык пластин разной ширины изгиб в плоскости пластин от усадочной силы $P_{y.c}$, создает на плече e изгибающий момент $M = P_{y.c} e$. Прогиб подсчитывается по формуле:

$$f = \frac{ML^2}{8EJ} = \frac{P_{y.c} e L^2}{8EJ}, \quad (29)$$

где e - эксцентриситет усадочной силы относительно центра тяжести поперечного сечения;

J - момент инерции сечения сваренной детали.

Изгиб существенно зависит от длины L и ширины пластин и может достигать нескольких миллиметров.

При сварке тавра деформация чаще всего проявляется в изгибе балки и будет зависеть от взаимного расположения центра тяжести сечения тавра и центра тяжести сечения зоны разогрева (от плеча e). Прогиб балки под действием сил $P_{y.c}$ будет равен

$$f = \frac{ML^2}{8EJ_y} = \frac{P_{y.c} e L^2}{8EJ_y}, \quad (30)$$

где J_y - момент энергии площади поперечного сечения балки относительно оси $y-y$ (вдоль вертикальной стенки).

При изготовлении емкостных конструкций в результате продольной усадки часто теряют устойчивость листовые элементы, в которых

возникают собственные напряжения сжатия, превышающие критическую величину. Такие случаи имеют место при сварке круглых элементов в лист, при сварке круглых плоских дна в цилиндрические обечайки, при сварке продольных прямолинейных швов в обечайках, кольцевых, меридианальных, замкнутых криволинейных швов — в цилиндрических и сферических оболочках. Примеры расчета деформаций в таких случаях и меры их устранения приводятся в [24], [25]. Численные значения продольной усадки стыковых соединений стальных листов обычно колеблются в пределах от 0,2 до 0,4 мм на метр шва.

Поперечная усадка стыковых соединений вызывается литейной поперечной усадкой металла в зоне расплавления и поперечным сокращением участков основного металла в зоне разогрева.

Величина поперечного укорочения закрепленных по наружным краям листов зависит от теплофизических свойств свариваемого материала, количества тепла, воспринятого единицей длины свариваемого изделия, толщины материала и определяется по формуле:

$$\Delta b = \frac{\alpha}{c\gamma} \frac{q_n}{S}, \quad (31)$$

где Δb — величина поперечного укорочения, см;
 α — коэффициент линейного расширения, $1/^\circ\text{C}$;
 q_n — погонная энергия нагрева, кал/см, вычисляемая по формуле

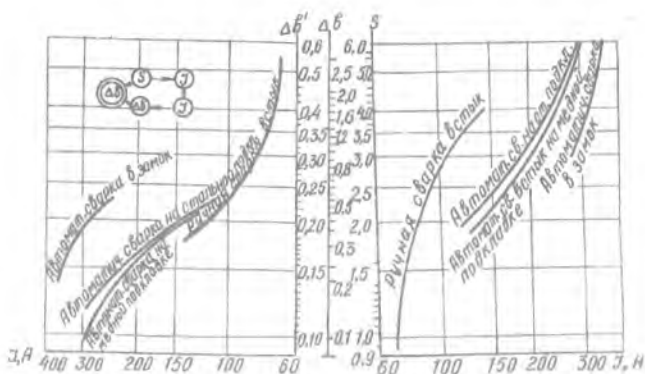
$$q_n = \frac{q_{эф}}{v_{св}} = \frac{0,24 T_{св} c_{ш} \gamma_{ш}}{v_{св}}. \quad (32)$$

Величина поперечного укорочения от одного шва для алюминиевых сплавов ($\alpha = 25,8 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$; $T_{ср} = 300^\circ\text{C}$; $c = 0,25 \text{ кал/г}^\circ\text{C}$; $\gamma = 2,64 \text{ г/см}^3$) определяется по формуле:

$$\Delta b = 39,1 \cdot 10^{-6} \frac{q_n}{S}. \quad (33)$$

Для случая сварки листовой конструкции $S = 2-6$ мм из сплава АМг6 поперечное укорочение можно определить по номограмме, рис. 2.13.

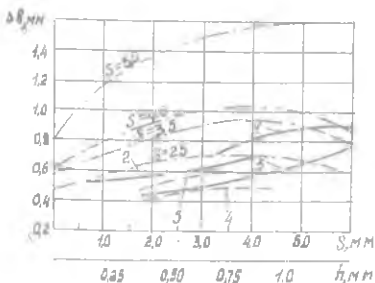
Приведенная номограмма определения поперечных укорочений разработана для нормальных условий сборки под сварку с зазором 0-0,5 мм. Увеличение зазора в стыке приводит к увеличению поперечной усадки. Зависимость Δb от зазора приведена на рис. 2.14.



Р и с.2.13. Номограмма для определения величины поперечного уклонения при аргоно-дуговой сварке Al-Mg сплавов

Р и с.2.14. Зависимость поперечного укорочения от толщины материала S и величины зазора h :

- поперечные укорочения в плоских деталях; 1-автоматическая сварка в залок; 2-ручная сварка в стык; 3-автоматическая сварка в стык;
- поперечные укорочения в обечайках; 4-для обечайки ϕ 250 мм; 5-для обечайки ϕ 500 мм; - - поперечные укорочения в зависимости от величины зазора [38]



Из этого следует, что нельзя использовать увеличение зазоров в стыковых соединениях для устранения неточностей в размерах деталей, допущенных на ранней стадии сборки-сварки, так как это приведет к дефектам на последующей стадии из-за увеличения поперечных укорочений.

Угловые деформации вызваны неравномерной поперечной усадкой по толщине листа. Угол поворота концов пластины β относительно друг друга приблизительно вычисляется по формуле [26]:

$$\beta = 2\alpha T \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \quad (34)$$

- где α - коэффициент линейного расширения;
- T - температура, начиная с которой металл шва приобретает упрочные свойства;
- θ - угол разделки свариваемых кромок.

При автоматической сварке угол θ может сильно отличаться от угла разделки. Так, например, при отсутствии скоса кромок угол разделки $\theta = 0$, а форма зоны проплавления имеет вид трапеции с углом $\theta \neq 0$. Возникающие деформации при этом определяются формой зоны проплавления и не равны нулю. Поэтому под углом θ следует понимать тот угол разделки, который создается не предварительным скосом кромок, а формой зоны проплавления при сварке.

Величина усадки при сварке прерывистых швов, как правило, меньше чем при сплошном шве. В расчетах продольных сварочных деформаций от прерывистых швов используют эффективное значение усадочной силы [24]:

$$P_{ус\ эф} = P_{ус} \frac{t_w}{t}, \quad (35)$$

где $P_{ус}$ - величина усадочной силы в непрерывном сварном соединении;

t_w - длина участка шва;

t - шаг прерывистого шва.

Поперечная усадка в сварных соединениях с прерывистыми швами происходит только на участке шва

$$\Delta b_{np} = \Delta b \frac{t_w}{t}, \quad (36)$$

где Δb - поперечная усадка от непрерывного шва.

Угловая деформация β в плоскости, перпендикулярной шву, при сварке стыковых прерывистых швов имеет примерно такую же величину, как и при сварке непрерывного шва. Объясняется это тем, что незаваренные участки соединения практически не сопротивляются образованию угловых деформаций.

При сварке прерывистых односторонних угловых швов угловая деформация поворота листа относительно ребра происходит так же, как в непрерывных швах, так как она зависит только от усадки самого наплавленного металла. Угол изгиба листа β_n вычисляют по формуле:

$$\beta_n = \beta \frac{t_w}{t}. \quad (37)$$

2.5.7. Разработка технических условий поставки деталей на сборку-сварку

В этой части проекта должны быть определены технические требования к состоянию всех деталей, подлежащих сварке.

Технические условия поставки деталей оформляются в виде таблицы, содержащей номера чертежей и наименования деталей, эскизы деталей, на которых указываются место и величина припуска, форма и размеры разделки кромок.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ СБОРОЧНО-СВАРОЧНОЙ ОСНАСТКИ

3.1. Разработка задания на проектирование оснастки

При разработке задания на проектирование оснастки устанавливается требование к конструкции и монтажу систем оснастки, определяются условия ее работы (исходя из назначения и требований производительности). Задание оформляется в виде таблицы и эскиза оснастки с условным изображением на нем собираемого узла, баз фиксации и мест закрепления, подвода тока, расположения трубопроводов защитного газа, охлаждающей воды и воздуха. Форма бланка задания приведена в [5].

Кроме требований к оснастке, перечисленных в задании на проектирование, следует иметь в виду, что любая конструкция сборочно-сварочной оснастки должна обеспечить:

1. Удобство, простоту и безопасность в эксплуатации.
2. Свободный подход для проверки размеров узла.
3. Сборку узла с заданной точностью.
4. Взаимозаменяемость сварных узлов.
5. Возможность наиболее выгодного порядка наложения сварных швов.
6. Наименьшее число поворотов и быструю установку узла в нужное положение.
7. Необходимую скорость отвода тепла от места сварки.
8. Свободный съем готового узла.

3.2. Разработка конструкции оснастки

К специальной сварочной оснастке относятся:

приспособления для сборки и прихватки

- " - " - для сварки

- " - " - для сборки и сварки

В курсовом проекте предусматривается разработка конструкции приспособления для сборки и сварки заданного узла.

Сборочно-сварочные устройства для сварки плавлением чаще всего состоят из каркаса, фиксаторов, зажимных устройств, узлов для формирования корня шва и других элементов.

Каркасы являются основным силовым элементом, связывающим все остальные узлы приспособления. Каркасы могут состоять из балок, рам, ферм, плит, соединяемых между собой чаще всего сваркой. Особенностью каркасов сборочно-сварочных приспособлений является то, что они могут крепиться как непосредственно к фундаментам (стационарные приспособления), так и к устройствам, осуществляющим вращение, например, к планшайбе манипуляторов, стендов (съемные приспособления).

Фиксаторы предназначены для обеспечения требуемого взаимного расположения свариваемых деталей. К ним относятся ложемнты, рубильники, плиты разъема, упоры и другие. Базирование деталей собираемого узла в приспособлении должно быть выполнено в соответствии с правилом шести точек. При сборке под сварку базируется каждая деталь свариваемого узла. Базами для фиксации деталей могут служить как фиксаторы приспособления, так и другие детали свариваемого узла.

Зажимные устройства сварочно-сборочных приспособлений состоят из силового привода, передач от силового привода к зажимам (силового механизма), контактного элемента и аппаратуры управления. По виду энергии, преобразуемой в силовом приводе в исходное усилие, зажимные устройства подразделяют на пневматические, вакуумные, гидравлические, магнитные, электромеханические, механические и другие.

Силовой привод, преобразуя определенный вид энергии, развивает исходное усилие, которое с помощью соответствующего силового механизма преобразуется в зажимное усилие. Силовые механизмы (вятовые, эксцентриковые, клиновые, рычажные и другие) обычно выполняют роль усилителя. Наряду с усилением величины исходного усилия

силовой механизм может также изменять его по направлению, разлагать на составляющие и обеспечивать совместно с контактными элементами приложение зажимного усилия к свариваемым кромкам детали.

Аппаратура управления, применительно к виду используемой энергии, позволяет включать и отключать силовой привод, осуществлять реверс и регулирование энергетических параметров во времени.

При сварке плавлением для формирования корня шва применяются подкладки и устройства для их поджата к свариваемым кромкам. Материал и размеры формирующих корень шва подкладок зависят от марки свариваемого материала и его толщины [5].

Конкретные конструктивные решения при проектировании сборочно-сварочных приспособлений (конструкция каркаса, конструкция и число фиксаторов, зажимных устройств, узлов для формирования корня шва) зависят от формы и габаритных размеров свариваемых изделий, числа свариваемых деталей в изделии, характера сопряжений деталей между собой, марки материала и его толщины, от способа сварки и ряда других факторов.

Особое внимание необходимо уделить выбору материалов для изготовления деталей приспособления и их термической обработке. Наиболее широко при изготовлении сборочно-сварочных приспособлений применяются следующие материалы: стали марок 20, 20А, 3, 45, У7А, У8А, У12А, 65Г, Х18Н10Т, а также алюминиевые сплавы типа дюралюмин и неметаллические материалы. Увеличивать ассортимент материалов нет необходимости, так как это усложняет работу по изготовлению приспособлений и мешает унификации и нормализации деталей.

Сталь 3 используют для изготовления малоответственных деталей, работающих с малой нагрузкой без трения. Термической обработке эта сталь не подвергается, за исключением отжига рам и каркасов после сварки перед механической обработкой и сборкой.

Сталь 20 служит для изготовления деталей, к которым предъявляются требования высокой твердости поверхности при вязкой сердцеvine. Эта сталь цементируется на глубину 0,3–1,1 мм и закаливается до $HRC = 50 - 55$.

Сталь 20А применяется в виде труб для изготовления каркасов приспособлений. Ввиду больших габаритов, возможности деформации под влиянием собственного веса и необходимости иметь большие печи эти каркасы не подвергают отжигу.

Сталь 45 применяется для средненагруженных деталей и деталей, поверхности которых не подвергаются большому износу. Не цементуется, закаливается до $HRC = 40-45$. Без термической обработки почти не применяется.

Сталь У7А служит для изготовления деталей, от которых требуется большая вязкость при умеренной твердости, закаливается до $HRC = 52-58$.

Сталь У8А используют для плоских пружинных деталей, ленточных зажимов и т.д., закаливается до $HRC = 52-58$.

Сталь У12А выбирают для деталей большой твердости, не подвергающихся ударам, закаливается до $HRC = 56 - 62$.

Сталь 65Г служит для изготовления цилиндрических пружин.

Сталь Х18Н10Т чаще всего используется для изготовления подкладок с канавкой для формирования корня шва.

Дуралюмин используется для разжимных и подкладных колец. Медь и ее сплавы - для токоподводящих и теплопроводных элементов сварочных приспособлений.

Неметаллические материалы (баленит, дельта-древесина и др.) целесообразно использовать для изготовления деталей с электроизоляционными свойствами.

Следует указать на недопустимость применения инструментальных сталей и стали 45 без термической обработки.

Одной из важнейших характеристик сборочно-сварочных приспособлений является их вес. Снижение веса может быть достигнуто за счет применения нормализованных элементов, рациональных заготовок (прокат, литье, детали полученные гибкой заготовкой из листовых материалов).

Разработка конструкции сборочно-сварочного приспособления ведется в несколько этапов.

Н а п е р в о м э т а п е, после критического изучения конструкции сварного узла, целесообразно ознакомиться с известными типовыми конструкциями приспособлений для сборки и сварки подобных узлов, приведенными в соответствующей технической литературе и альбомах оснастки [5, ч.6]. Затем с учетом заданной программы и особенностей узла необходимо разработать общую схему приспособления (в масштабе) в трех проекциях. В отдельных случаях допускаются две проекции, дополненные необходимыми разрезами и сечениями. Контуры узла вычерчиваются обычно условно, в рабочем положении. После нанесения контура узла, привязываясь к нему, вычерчи-

вают фиксаторы и зажимные устройства, узлы для формирования корня шва, а затем все остальные элементы приспособления. На общем виде приспособления проставляются размеры, необходимые для монтажа и контроля. В таком виде общая схема приспособления согласовывается с руководителем.

На втором этапе проводятся необходимые прочностные, жесткостные и кинематические расчеты, уточняются размеры всех элементов приспособления, вычерчиваются сборочный чертеж приспособления и рабочие чертежи отдельных его деталей по указанию руководителя.

На третьем этапе описываются работа приспособления, изготовление отдельных его элементов, порядок сборки приспособления и его монтажа совместно с нормализованной оснасткой и сварочным оборудованием на рабочем месте. Вычерчивается компоновка оснастки и оборудования на рабочем месте и описываются условия их безопасной эксплуатации.

3.3. Кинематические, прочностные и другие расчеты элементов оснастки

В сборочно-сварочных приспособлениях для закрепления деталей могут применяться зажимные устройства, в которых используются различные кинематические схемы. Основное назначение таких устройств - обеспечить надежное закрепление свариваемых деталей при достаточном быстродействии, свободном подходе к местам установки деталей, фиксаторам, к местам сварки и безопасность в эксплуатации.

Зажимные устройства должны иметь минимальное количество отъемных частей (штырей, фиксаторов и т.д.), легко и просто собираться, быстроизнашиваемые детали должны легко заменяться при ремонте.

Кинематические расчеты обычно предусматривают решение трех основных задач: определение положений звеньев и траекторий, описываемых точками звеньев; определение скоростей отдельных точек, звеньев и угловых скоростей звеньев; определение ускорений отдельных точек звеньев и угловых ускорений звеньев. Кинематические расчеты зажимных и других устройств приспособлений проводятся по указанию руководителя по материалам, приведенным в [5], [27].

Элементы каркаса и зажимных устройств приспособлений должны иметь достаточную жесткость и прочность. В связи с этим при разработке приспособлений необходимо определить схему и величину дей-

ствующих усилий в силовых звеньях, рассчитать силовые элементы конструкции на прочность и жесткость.

Сборочно-сварочные приспособления не воспринимают в процессе их эксплуатации каких-либо значительных внешних усилий (кроме усилий, веса устанавливаемых деталей). В то же время приспособления подвержены действию местных высоких температур в процессе прихватки и сварки.

Одной из важных функций приспособления является уменьшение деформирования деталей и свариваемого узла, вследствие температурных воздействий. В приспособлениях в процессе сварки должна быть обеспечена возможность перемещения в плоскости хотя бы одной из двух свариваемых кромок.

Ориентировочные усилия прижима кромок, выработанные практикой, в зависимости от свариваемого материала и его толщины приведены в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1

Усилия прижима свариваемых кромок

| Свариваемый материал | Толщина материала, мм | Усилия прижима кгс/пог.см |
|--|-----------------------|---------------------------|
| Алюминиевые сплавы | 0,5 - 6,0 | 8 - 25 |
| Титановые сплавы | 0,5 - 3,0 | 30 - 70 |
| Высокопрочные стали $\sigma_B = 150-200 \text{ кгс/мм}^2$ | 1,5 - 4,0 | 135 - 240 |

Конструкция деталей и узлов приспособления должна по возможности обеспечить равномерное распределение нагрузки по сечению нагруженного элемента, т.е. материал должен работать на растяжение или на сжатие, а не на изгиб или кручение. В этом случае деформация элемента при одинаковых сечениях будет во много раз меньше. Для элементов, материал которых работает на кручение или изгиб, необходимо предусматривать соответствующие формы поперечных сечений, например, трубчатые или коробчатые.

Постоянство расположения всех фиксаторов приспособления и, следовательно, точность форм собираемых узлов определяется жесткостью каркаса. Методика расчета основных элементов каркасов на

жесткость базируется на общих принципах строительной механики с учетом специфических условий работы конструкций. Приближенная методика расчета на жесткость основывается на задании допустимых деформаций. Расчленение каркаса на отдельные балки и колонны, несущие соответствующие части нагрузки, позволяет свести расчет сложного каркаса оснастки к одному или нескольким более простым и известным решениям [28].

3.4. Основные указания по изготовлению, монтажу и безопасной эксплуатации оснастки

Изготовление элементов сборочно-сварочной оснастки и сборка оснастки небольших размеров производится в цехе подготовки производства на универсальном и специализированном оборудовании с использованием универсальных мерительных средств, шаблонов, макетов и эталонов.

Монтаж крупной сборочно-сварочной оснастки осуществляется в соответствии с планировкой рабочего места на предварительно подготовленный фундамент с использованием универсального мерительного инструмента, оптических приборов, шаблонов, макетов и других средств [29].

Элементы каркасов могут быть нормализованными и специальными. Нормализованные элементы входят в конструкцию каркасов оснастки в виде законченных конструктивных деталей, изготовленных согласно нормам. К нормализованным элементам приспособлений относятся колонны, стойки, стаканы, вилки, болты, гайки, шайбы, штыри и др. Специальные элементы изготавливаются по чертежам. При проектировании и изготовлении специальных сборочно-сварочных приспособлений необходимо стремиться к максимальному использованию таких элементов.

Силовые балки каркасов чаще всего изготавливают коробчатого сечения из прокатанных профилей (швеллеры, уголки и др.), соединенных дуговой сваркой. Сварной шов выполняется прерывистым, с интервалами, равными 100 мм при длине шва 100 мм. Сборку и сварку балок необходимо производить на специальном рабочем месте, не допуская прогибов элементов балок. Аналогичным образом изготавливаются рамы. Балки и рамы после сварки подвергаются старению для релаксации напряжений.

Рубильники, ложементы и другие фиксирующие элементы целесообразно изготавливать литьем из вторичного алюминиевого сплава с последующей обработкой всех размеров, обусловленных чертежом, по которому ведется изготовление и контроль.

Основные сведения по изготовлению рубильников, ложементов, ступельных плит и других элементов приспособлений приведены в [19] [29], [30], [36], [37].

Планировка рабочего места должна отвечать условиям максимальных удобств, позволяющим выполнять операции сборки и сварки изделий с наименьшей затратой рабочего времени и нормальным санитарно-техническими условиями.

4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЯТОГО ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

При проектировании технологического процесса сборки-сварки узла обычно рассматривается несколько вариантов его изготовления, обеспечивающих в равной мере требования чертежа и технических условий, но отличающихся затратами живого и овеществленного труда.

Отличия вариантов могут быть вызваны изменениями конструкции узла, методов или способов сварки, используемого сварочного оборудования или сборочно-сварочной оснастки. Изменения конструкции узла могут заключаться, например, в замене материала узла на более технологичный, лучше свариваемый, не требующий при изготовлении конструкции предварительного и сопутствующего подогрева, окончательной термической обработки, замене полуфабрикатов, места расположения, количества и вида сварных швов с целью уменьшения объема и трудоемкости механической обработки и сварочных работ. Часто представляется возможным заменить один метод или способ сварки другим, более производительным. При этом, как правило, приходится заменять сварочное оборудование и сборочно-сварочную оснастку.

Сравнительная экономическая эффективность различных вариантов затрат труда, капитальных вложений или новой техники может быть наиболее полно выявлена с помощью системы стоимостных и натуральных показателей [31]. К основным показателям относятся капитальные вложения, себестоимость продукции, производительность труда, срок окупаемости (или коэффициент сравнительной эффективности) дополнительных капитальных вложений, приведенные затраты. В качестве дополнительных применяются различные натуральные показатели: расход сырья, материалов, энергии на единицу продукции, съем продукции с 1 м^2 производственной площади и др.

Важнейшим показателем сравнительной экономической эффективности является минимум приведенных затрат. Его величина подсчи-

тывается по каждому варианту как сумма текущих затрат C_i (себестоимости) и единовременных капитальных затрат K_i , приведенных к одинаковой размерности в соответствии с размерностью нормативного коэффициента сравнительной эффективности капитальных вложений.

При попарном сравнении вариантов определяют коэффициент $F_{к.о}$ сравнительной эффективности, который для принимаемого варианта должен быть больше нормативного коэффициента F_H .

Величина F_H нормативного коэффициента эффективности по народному хозяйству в целом устанавливается на уровне не ниже 0,12, т.е. рассматриваемый вариант должен обеспечить экономическую эффективность не менее 0,12 рубля на 1 рубль дополнительных затрат.

По отдельным отраслям промышленности величина нормативного коэффициента эффективности устанавливается отраслевыми инструкциями.

В курсовом проектировании обычно ограничиваются определением цеховой себестоимости изделий, т.е. затратами на материалы и полуфабрикаты, затратами на производство и управление цехом.

Цеховая себестоимость включает следующие статьи:

1. Материалы (основные-конструктивные и технологические-электроды, флюсы, защитные газы и т.п.); покупные изделия, полуфабрикаты.
2. Основная зарплата производственных рабочих.
3. Дополнительная зарплата производственных рабочих и отчисления на социальное страхование.
4. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования и оснастки.
5. Общецеховые расходы.

Методика расчета отдельных статей технологической себестоимости изготовления узла и сравнения вариантов технологического процесса приведена в работах [31], [32].

При выборе способа сварки плавлением алюминия и его сплавов необходимо учитывать качество шва, его внешний вид, деформацию сварного соединения, универсальность способа. Обобщенные данные об универсальности различных способов сварки и их влиянии на формирование шва и деформацию изделий представлены в [5].

При соблюдении требуемой прочности соединения эффективность применения различных способов сварки плавлением алюминиевых спла-

вов толщиной 10 мм (без учета амортизационных отчислений, цеховых и заводских накладных расходов) может быть оценена по данным табл. 4.1.

При уменьшении толщины свариваемого материала возрастает преимущества аргонно-дуговой сварки неплавящимся электродом.

Технико-экономические показатели импульсно-дуговой сварки алюминиевых сплавов плавящимся электродом в аргоне приведены в табл. 4.2.

Технико-экономическая эффективность применения сварных и клеесварных соединений алюминиевых сплавов видна из данных табл. 4.3 и 4.4.

Т а б л и ц а 4.1

Затраты на выполнение I пог.м шва [33]

| Способы и методы сварки плавлением | Раз- ряд рабо- чего свар- щика | Трудо- емкость на I пог. м шва, нормо- час | Расход материалов на I пог.м шва | | | | | | | | Общая стои- мость ра- бот, % |
|---|---|---|----------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------|----------|-------------|-------------|------------------------------|------------------------------------|
| | | | присадочная проволока, кг | вольфрамовые электроды, кг | электроды для ручной дуговой сварки, кг | флюсы АФ-4а АН-А1, кг | аргон, л | ацетилен, л | кислород, л | электроэнер- гия, кВт.час | |
| Ручная многопроходная аргонно-дуговая неплавя- щимся электродом ВЛ (в три прохода) | 5 | 0,77 | 0,30 | 0,00260 | - | - | 504 | - | - | 0,94 | 100 |
| Автоматическая однопроход- ная аргонно-дуговая не- плавящимся электродом | 4 | 0,16 | 0,05 | 0,00026 | - | - | 198 | - | - | 0,42 | 29 |
| То же плавящимся электродом | 4 | 0,09 | 0,11 | - | - | - | 75 | - | - | 1,15 | 16 |
| Полуавтоматическая аргонно- дуговая плавящимся электродом (в два прохода) | 5 | 0,24 | 0,25 | - | - | - | 180 | - | - | 2,10 | 38 |
| Автоматическая однопроходная по флюсу АН-А1 одинар- ным электродом | 4 | 0,11 | 0,15 | - | - | 0,26 | - | - | - | 1,41 | 13 |
| Ручная электродуговая по- крытым электродом | 5 | 0,21 | - | - | 0,40 | - | - | - | - | 2,80 | 61 |
| Газовая ацетилено-кислородная с флюсом АФ-4а (в два прохода) | 5 | 0,53 | 0,32 | - | - | 0,08 | - | 369 | 393 | - | - |

Общая стоимость выражена в % по отношению к ручной аргонно-дуговой сварке

Т а б л и ц а 4.2

Затраты на выполнение I пог.м шва [34]

| Толщина или катег, мм | Затраты по трудо- емкости | | Расход материалов на I пог.м | | | | | | | | | | Затраты на I пог. м шва, руб. |
|---|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------|--------------------------|----------------------------|--------------|-------------------------|-----------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| | трудо- емкость I пог.м.н./час | стоимость, I н.ч., руб. | присадочная проволока | | | а р г о н | | | вольфрам | | | | |
| | | | сумма, руб. | расход, кг | стоимость, I кг, руб. | общая стои- мость, руб. | расход, л | стоимость, I л, руб. | общая стоимость, руб. | расход, г | стоимость, I г, руб. | общая сто- имость, руб. | |
| Ручная аргонно-дуговая сварка | | | | | | | | | | | | | |
| Угловой шов K = 5 | 0,25 | 0,503 | 0,126 | 0,04 | 1,7 | 0,068 | 170 | 0,002 | 0,34 | 0,4 | 0,0195 | 0,007 | 0,541 |
| Стык S = 8... | 0,78 | 0,503 | 0,392 | 0,2 | 1,7 | 0,34 | 500 | 0,002 | 1,0 | 2,1 | 0,0195 | 0,0409 | 1,773 |
| Стык S = 25... | 2,0 | 0,503 | 1,006 | 0,8 | 1,7 | 1,36 | 2300 | 0,002 | 4,6 | 6,0 | 0,0195 | 0,117 | 7,083 |
| Полуавтоматическая импульсно-дуговая сварка | | | | | | | | | | | | | |
| Угловой шов K = 5 | 0,08 | 0,503 | 0,04 | 0,032 | 1,7 | 0,054 | 20 | 0,002 | 0,04 | - | - | - | 0,134 |
| Стык S = 8... | 0,26 | 0,503 | 0,131 | 0,16 | 1,7 | 0,272 | 55 | 0,002 | 0,11 | - | - | - | 0,513 |
| Стык S = 25 ... | 0,50 | 0,503 | 0,251 | 0,64 | 1,7 | 1,088 | 310 | 0,002 | 0,62 | - | - | - | 1,959 |

Т а б л и ц а 4.3

Трудоемкость и себестоимость изготовления конструкций различными методами соединений [12]

| Виды соединения | Себестоимость изготовления I м шва, руб. | Относительные показатели изготовления I м шва. % | | |
|---|--|--|---------------|-------|
| | | трудоемкость | себестоимость | вес |
| Точечная сварка | 0,0693 | 100 | 100 | 100 |
| Клеесварное соединение | 0,0815 | 151 | 179 | 110 |
| Механизированное сверление и групповая прессовая клепка | 0,0845 | 175 | 123 | 103,5 |
| Механизированное сверление и групповая прессовая клепка с поверхностной герметизацией | 0,1667 | 385 | 242 | 143,5 |
| То же с внутришовной герметизацией | 0,2029 | 560 | 290 | 123,5 |
| То же с двухзонной герметизацией | 0,2852 | 784 | 406 | 168 |

Т а б л и ц а 4.4

Трудоемкость и себестоимость изготовления сварных и клепаных соединений (негерметичная клепка) [12]

| Вид соединения | Время постановки одной точки, мин | Себестоимость постановки одной точки, руб. |
|---|-----------------------------------|--|
| Точечная сварка | 0,12 | 0,0021 |
| Механизированное сверление и групповая прессовая клепка | 0,21 | 0,0023 |
| Ручное сверление и одиночная прессовая клепка | 0,43 | 0,00256 |
| Ручное сверление и клепка | 0,76 | 0,00371 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственные стандарты Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) и Единой системы технологической документации (ЕСТД) по вопросам конструирования и производства изделий с использованием процессов сварки, пайки, наплавки, напыления и термической резки конструкционных материалов.

Государственные и отраслевые стандарты (ГОСТ и ОСТ), руководящие технические материалы (РТМ), производственные инструкции (ПИ, АИ), регламентирующие требования к сварным соединениям, технологическим процессам сварки, сварочному оборудованию и оснастке, контролю процессов и качеству соединений (см. ежегодники "Указатель государственных стандартов" и материалы в библиотеке кафедры).

2. Петров Г.Л. Сварочные материалы. Л., "Машиностроение", 1972, с. 280.

3. Юрьев В.П. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники. М., "Машиностроение", 1972, с. 52.

4. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих, вып. 2. М., "Машиностроение", 1973, с. 400.

5. Сборочно-сварочные работы в производстве летательных аппаратов. Справочные материалы к курсовому проектированию. КуАИ, 1973.

6. Справочник по сварке, том. 2. Под ред. Б.В.Соколова. М., "Машиностроение", 1961.

7. Справочник по сварке, том. 4. Под ред. А.И.Акулова. М., "Машиностроение", 1971, с. 416.

8. Зубриенко Д.Г. и др. Аргоно-дуговая сварка алюминиевых сплавов с прерывистой подачей присадочной проволоки. - "Сварочное производство", 1972, № 4, с. 46.

9. Рабнин Д.М. и др. Сварка алюминиевых сплавов на постоянном токе прямой полярности. - "Автоматическая сварка". 1971, № 3, с. 71.

10. Столбов В.И. - "Сварочное производство". 1973, № 3, с. 10-12.
11. "Сварочное производство". 1972, № 4, с. 15-17.
12. Шапурин В.Н. и др. Клеемеханические соединения в технике. М., "Машиностроение", 1968, с. 230.
13. Казимиров А.А. и др. Расчет температурных полей в пластинках при электросварке плавлением. Киев, "Наукова думка", 1968, с. 847.
14. Орлов Б.Д. и др. Технология и оборудование контактной сварки. М., "Машиностроение", 1975, с. 536.
15. Рыкалин Н.И. Тепловые основы сварки. М.-Л., изд-во АН СССР, 1947, с. 271.
16. Методическое руководство по курсовому проектированию "Оборудование и технология сварки плавлением", под ред. Г.Д.Никифорова. МАТИ, 1974, с. 50.
17. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М., "Машиностроение", 1974, с. 240.
18. Патон Б.Е., Шейко П.И. Управление переносом металла при дуговой сварке плавящимся электродом. - "Автоматическая сварка", 1965, № 5, с. 1-7.
19. Сварочное оборудование. Каталог справочник, ч. 1-2, ИСО Б.С.Патона, 1968.
20. Бойцов В.В., Баранов М.И. Сварочные работы и вопросы нормализации и унификации оборудования. Сб. под общ. ред. Б.Е.Патона. Автоматизация и механизация сварочного производства К. "Н.Т.М" 1961, с. 175.
21. Общемашиностроительные нормативы времени на автоматическую, полуавтоматическую и ручную электродуговую сварку в среде защитных газов высоколегированных сталей и цветных сплавов. М., НИИтруда, 1975, с. 287.
22. Общемашиностроительные нормативы времени на контактную сварку. М., НИИтруда, 1974, с. 44.
23. Проектирование сварных конструкций в машиностроении. Под ред. С.А.Куркина. М., "Машиностроение", 1975, с. 376.
24. Винокуров В.А. Сварочные деформации и напряжения. М., "Машиностроение", 1968, с. 236.
25. Сагалевич В.М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. М., "Машиностроение", 1974, с. 248.
26. Окерблом Н.О. Конструктивно-технологическое проектирование сварных конструкций. Л., "Машиностроение", 1964, с. 367.
27. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. М., "Машиностроение", т.4, 1975, с. 448.
28. Бойцов В.В. Механизация и автоматизация в мелкосерийном производстве. М., "Машиностроение", 1971, с. 139-148.
29. Технология самолетостроения. Под ред. А.Л.Абимова. М., "Машиностроение", 1970, с. 599.

30. Р а з у м и х и н М.И., И с а ю к И.И. Приспособления для сборки агрегатов самолета. Конспект лекций. Куйбышевский авиационный институт, 1973.

31. Экономика машиностроительной промышленности. Под ред. И.М.Разумова, А.Д.Емельянова и М.Д.Демченко. М., "Высшая школа", 1973, с. 440.

32. В и к т о р о в а А.Н. Экономическое обоснование дипломных проектов сборочно-сварочных цехов, КуАИ, 1973, с. 70.

33. Р а б и н Д.М. и др. Выбор способа сварки плавлением алюминия и его сплавов. - "Автоматическая сварка", № 9, 1966.

34. П о т а л ь е в с к и й А.Г. и др. Импульсно-дуговая сварка алюминиевых сплавов. Л., ДНЦМ, 1966, с. 45.

35. Теоретические основы сварки. Под ред. В.В.Фролова. М., "Высшая школа", 1970, с. 522.

36. Г и т л е в и ч А.Д., Э т и г о ф Л.А. Механизация и автоматизация сварочного производства. М., "Машиностроение", 1972, с. 280.

37. Р я б о к о н ь Н.Г. Механизация и автоматизация технологических процессов сварочного производства. М., Mashiz, 1963.

38. М о и с е е н к о В.П. Сварочные деформации поперечного укорочения при автоматической аргоно-дуговой сварке легких сплавов. - В сб.: Автоматизация сварочных работ. Под ред. Л.А.Дударя. Куйбышевское книжное изд-во, 1964, с. 42-49.

39. Контроль качества сварки. Под ред. В.Н.Волченко. М., "Машиностроение", 1975, с. 328.

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КУРСОВОМ ПРОЕКТЕ

| | |
|--|---|
| I.1. Цель курсового проекта, связь с другими дисциплинами..... | 3 |
| I.2. Тематика курсового проекта..... | 3 |
| I.3. Содержание и объем курсового проекта.. | 4 |
| I.4. Требования к проекту..... | 6 |
| I.5. Задание на проект, руководство проектированием, учет хода выполнения проекта, защита проекта..... | 7 |

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ-СВАРКИ УЗЛА

| | |
|--|----|
| 2.1. Назначение и краткое описание конструкции..... | 8 |
| 2.2. Анализ технологичности конструкции и предложения по ее повышению..... | 8 |
| 2.3. Разработка схем технологического членения и сборки- сварки узла..... | 15 |
| 2.4. Разработка маршрутного технологического процесса сборки-сварки узла..... | 16 |
| 2.5. Проектирование операционного технологического процесса сборки-сварки узла.... | 24 |
| 2.5.1. Определение содержания переходов. | 24 |
| 2.5.2. Расчеты тепловых процессов и режимов сварки..... | 25 |

| | |
|--|----|
| 2.5.3. Расчетное определение основных параметров импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом.... | 35 |
| 2.5.4. Выбор сварочного оборудования, стандартной и нормализованной сборочно-сварочной оснастки..... | 40 |
| 2.5.5. Нормирование технологического процесса..... | 47 |
| 2.5.6. Расчет деформаций узла, вызываемых сверкой..... | 48 |
| 2.5.7. Разработка технических условий поставки деталей на сборку-сварку..... | 54 |

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ СБОРОЧНО-СВАРОЧНОЙ ОСНАСТКИ

| | |
|---|----|
| 3.1. Разработка задания на проектирование оснастки..... | 55 |
| 3.2. Разработка конструкции оснастки..... | 56 |
| 3.3. Кинематические, прочностные и другие расчеты элементов оснастки..... | 59 |
| 3.4. Основные указания по изготовлению, монтажу и безопасной эксплуатации оснастки. | 61 |

4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЯТОГО ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

| | |
|---------------------------|----|
| Л и т е р а т у р а | 69 |
|---------------------------|----|

Д у д а р ь Леонид Арсеньевич

К и т а е в Федор Иванович

Р у д м а н Меер Давидович

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

У ч е б н о е п о с о б и е

Редактор И.М.Чулкова

Техн.редактор Н.М.Каленюк

Корректор Т.В.Плякова

Подписано к печати 9.03.78 г . В0 00122.
Формат 60x84 1/16. Бумага обертка белая.
Офсетная печать. Усл.п.л. 4,42. Уч.-изд.л.4,23.
Тираж 500 экз. Заказ № 2244 . Цена 22 коп.
Темпная 1978 г., поз. 1159.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени С.П.Королева, г.Куйбышев,
ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография имени Мяги, г. Куйбышев,
ул. Венцека, 60.