

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности 6-05-0714-03
«Инженерно-техническое проектирование и производство
материалов и изделий из них»
очной и заочной форм обучения*



УДК 621.791.7
ББК 30.61
Т38

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «21» апреля 2025 г., протокол № 10

Составитель канд. техн. наук, доц. Д. Н. Юманов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

Методические рекомендации к курсовому проектированию по дисциплине «Технология сварки давлением» предназначены для студентов специальности 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование и производство материалов и изделий из них» очной и заочной форм обучения.

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

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

© Белорусско-Российский
университет, 2025

Содержание

1 Цели и задачи курсовой работы.....	4
2 Тематика курсовых работ	5
3 Содержание расчетно-пояснительной записки.....	5
4 Оформление курсовой работы.....	6
5 Методика выполнения курсовой работы.....	8
6 Охрана труда на рабочем месте	31
Список литературы.....	32

1 Цели и задачи курсовой работы

Курсовая работа выполняется после изучения курса «Технология и оборудование сварки давлением». Выполнение курсовой работы по указанной дисциплине является одним из этапов подготовки студентов к самостоятельной работе над дипломным проектом по специальности 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование и производство материалов и изделий из них».

При выполнении курсовой работы студенты должны:

- описать конструкцию конкретного узла (изделия) и условия его эксплуатации;
- проанализировать химический состав, свойства и свариваемость материала деталей узла;
- обосновать целесообразность сварки конкретного узла одним из способов сварки давлением (контактная точечная, рельефная, шовная, стыковая сварка и др.);
- описать физическую сущность выбранного способа сварки давлением;
- выбрать и обосновать циклограмму процесса сварки конкретного узла;
- на основании исходных данных, приведенных в индивидуальном задании на курсовую работу, рассчитать основные параметры режима сварки конкретного узла с учетом литературных рекомендаций в соответствии с традиционными методиками расчета (расчет уравнения теплового баланса межэлектродной зоны и т. д.);
- на основании полученного значения требуемого сварочного тока рассчитать длительный вторичный ток, который должна обеспечивать сварочная машина с учетом характера цикла сварки и продолжительности включения ПВ%. Затем по ГОСТ 10594–80 подобрать ближайшее большее значение длительного вторичного тока трансформатора для серийно выпускаемых контактных машин;
- по стандартному значению длительного вторичного тока трансформатора выбрать конкретную контактную машину для сварки рассматриваемого узла (при выборе машины обратить внимание на минимальные вылет и раствор машины, необходимые для сварки узла);
- описать основные узлы и принцип работы выбранной контактной машины;
- в масштабе вычертить элементы вторичного контура выбранной контактной машины, после чего рассчитать контур (найти его полное сопротивление в режимах короткого замыкания и сварки);
- построить внешнюю вольтамперную характеристику, которую обеспечит выбранная контактная машина при сварке;
- выбрать по литературным рекомендациям или сконструировать приспособление или электродный узел для сборки и сварки рассматриваемого узла;
- рассчитать нормы времени сборочно-сварочной операции для рассматриваемого узла, а также выбрать и обосновать способ контроля качества сварного соединения, после чего оформить карту технологического процесса сварки;

- сделать планировку рабочего места сборки и сварки рассматриваемого узла;
- разработать мероприятия по охране труда при работе на участке.

2 Тематика курсовых работ

Для выполнения курсовой работы студентам выдаются индивидуальные задания, в которых предлагается разработать технологический процесс изготовления конкретного изделия способом сварки давлением, например: «Разработать технологический процесс изготовления бензобака способом контактной шовной сварки (материал – коррозионно-стойкая сталь 12X18H10T, толщина 1,5 + 1,5 мм)».

Кроме этого, студенту в качестве исходных данных для выполнения курсовой работы руководителем выдаются:

- чертеж изделия;
- условия эксплуатации изделия или ТУ на его изготовление;
- годовой выпуск изделия.

При выполнении курсовой работы студенты могут применять ЭВМ для расчетов.

3 Содержание расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка курсовой работы должна включать в себя следующие разделы.

Титульный лист.

Задание на курсовую работу.

СОДЕРЖАНИЕ.

ВВЕДЕНИЕ.

1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ.

1.1 Описание конструкции свариваемого узла (изделия) и технических условий его эксплуатации.

1.2 Анализ химического состава, теплофизических и механических свойств материала изделия.

1.3 Обоснование выбора способа сварки и описание его сущности.

2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.

2.1 Оценка свариваемости материала изделия, выбор и обоснование циклограммы процесса сварки.

2.2 Расчет основных параметров режима сварки.

2.3 Расчет продолжительности включения и вторичного длительного тока трансформатора.

2.4 Выбор машины для контактной сварки и описание ее технических характеристик.

2.5 Описание электрической схемы силовой части, пневматической схемы привода сжатия, схемы охлаждения машины для контактной сварки.

2.6 Расчет вторичного контура машины для контактной сварки.

2.7 Построение внешней вольтамперной характеристики машины для контактной сварки.

3 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

3.1 Конструирование электродных узлов или приспособлений для сборки и сварки рассматриваемого изделия.

3.2 Расчет норм штучного времени на контактную сварку изделий.

3.3 Выбор способа контроля качества соединений.

3.4 Разработка технологического процесса сборки, сварки и контроля изделия.

3.5 Планировка участка сборки и сварки рассматриваемого узла.

3.6 Мероприятия по охране труда на рабочем месте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

ПРИЛОЖЕНИЯ (А – ЧЕРТЕЖИ; Б – РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ НА ЭВМ;
В – КАРТ
А ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА).

4 Оформление курсовой работы

Работы печатаются с использованием компьютера и принтера на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм). Допускается представлять таблицы и иллюстрации в приложении на листе формата А3 (297 × 420 мм).

Набор текста осуществляется с использованием текстового редактора MicrosoftWord. Текст работы печатается шрифтом TimesNewRoman 14 пунктов, межстрочный интервал – одинарный. Размеры полей с учетом рамки должны быть не менее: левое – 25 мм, правое – 10 мм, верхнее – 10 мм, нижнее – 25 мм.

Абзацный отступ первой строки – 1 или 1,25 см. Выравнивание текста – по ширине листа.

Шрифт печати прямой, черного цвета, одинаковый по всей работе. Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания, применяя разное начертание шрифта: курсивное, полужирное, курсивное полужирное, выделение с помощью рамок, подчеркивания и др.

Опечатки и графические неточности, обнаруженные в тексте, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской корректора и нанесением на том же месте исправленного текста черной капиллярной ручкой.

Наименования структурных элементов «СОДЕРЖАНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ», «ПРИЛОЖЕНИЯ», раздела «ОБЩАЯ ЧАСТЬ», раздела «РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ» и раздела «КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ» печатаются прописными буквами в середине строк, используя полужирный шрифт

размером на 1–2 пункта больше, чем шрифт основного текста.

Заголовки подразделов печатают строчными буквами (кроме первой прописной) с абзацного отступа полужирным шрифтом размером шрифта основного текста.

В конце заголовков разделов и подразделов (пунктов) точку не ставят. Если заголовок состоит из двух или более предложений, их разделяют точкой. Подчеркивание заголовка не допускается.

Расстояние между заголовком и текстом (за исключением заголовка пункта) должно составлять 2–3 межстрочных интервала. Если между двумя заголовками текст отсутствует, то расстояние между ними устанавливается в 1,5–2 межстрочных интервала.

Каждую структурную часть работы следует начинать с нового листа (страницы). Данное требование не распространяется на подразделы (пункты).

На первом листе каждого приложения в верхнем правом углу необходимо прописными буквами указать ПРИЛОЖЕНИЕ А и т. д. Приложения включаются в общую нумерацию страниц пояснительной записки. Нумерация листов снизу справа.

В тексте работы последовательно должны располагаться ссылки на все литературные источники, приведенные в конце работы по мере упоминания: [1], [2] и т. д.

Пример оформления литературного источника.

1 **Березиенко, В. П.** Технология сварки давлением / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.

Каждая расчетная формула должна сопровождаться ссылкой на литературный источник. Формулы первоначально записываются в общем виде, где должны быть приведены размерности физических величин. Только после этого осуществляется подстановка в формулы числовых величин. Уравнения и формулы следует выделять из текста свободными строками. Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не уместится в одну строку, оно должно быть перенесено после того или иного операционного знака (равенства, плюс, минус, умножения, деления), который повторяется в начале следующей строки. Нумеруют формулы в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, отделенных точкой. Номера формул пишутся в круглых скобках у правого поля листа на уровне формулы, например: (1.1) (первая формула первого раздела).

Все приведенные в пояснительной записке рисунки, схемы и таблицы должны быть пронумерованы (по аналогии с формулами) и снабжены надписями с расшифровкой всех обозначений. Подрисуночные надписи печатаются полужирным шрифтом 12 пунктов с выравниванием по ширине листа. Шрифт в таблицах прямой размером 11 пунктов, выравнивание текста в таблицах – по центру ячейки.

Нумерация страниц, разделов, подразделов, рисунков, таблиц, формул и приложений дается арабскими цифрами без знака №. Первой страницей работы является титульный лист. Титульный лист и задание на выполнение курсовой работы не нумеруются, но включаются в общую нумерацию страниц работы.

Объем пояснительной записки курсовой работы составляет 40–60 страниц. Допускается увеличение объема работы по согласованию с руководителем.

Чертежи должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД, условные обозначения и изображения сварных швов соединений приводятся по ГОСТ 2.313–72, ГОСТ 15878–79.

Требования к заполнению и оформлению технологических документов на процессы и операции по сварке устанавливаются ГОСТ 3.104–86.

5 Методика выполнения курсовой работы

5.1 Описание конструкции свариваемого узла (изделия) и технических условий его эксплуатации

В курсовой работе отмечаются основные конструктивные особенности изделия с указанием отдельных деталей и их назначения. Указываются условия работы изделия – характер нагружения (статическое, знакопеременное), климатические условия эксплуатации, наличие/отсутствие взаимодействия изделия с агрессивной средой (например, бензин, кислота, щелочной раствор и др.), диапазон рабочих эксплуатационных температур, требования к герметичности, доступ к узлу в конструкции при его ремонте и восстановлении, методы испытания узла на соответствие требованиям пожарной безопасности (если таковые имеются, например, для топливных баков) и др.

По согласованию с руководителем допускается изменение заданной конструкции узла для улучшения ее технологичности (изменение геометрии, размеров, количества и мест формирования сварных соединений).

Если материал изделия не задан, необходимо его выбрать, привести обоснование этого выбора. В любом случае первоначально необходимо привести химический состав материала, его основные теплофизические и механические свойства.

5.2 Обоснование выбора способа сварки и описание его сущности

Контактная сварка – способ сварки давлением, при котором соединение образуется в результате нагрева электрическим током и пластического деформирования усилием сжатия. Роль контактной сварки при производстве конструкций весьма значительна.

По характеру и условиям протекания процесса соединения металлов контактная сварка подразделяется на следующие основные виды: точечную, рельефную, шовную и стыковую [1].

Контактная точечная сварка – разновидность контактной сварки, при

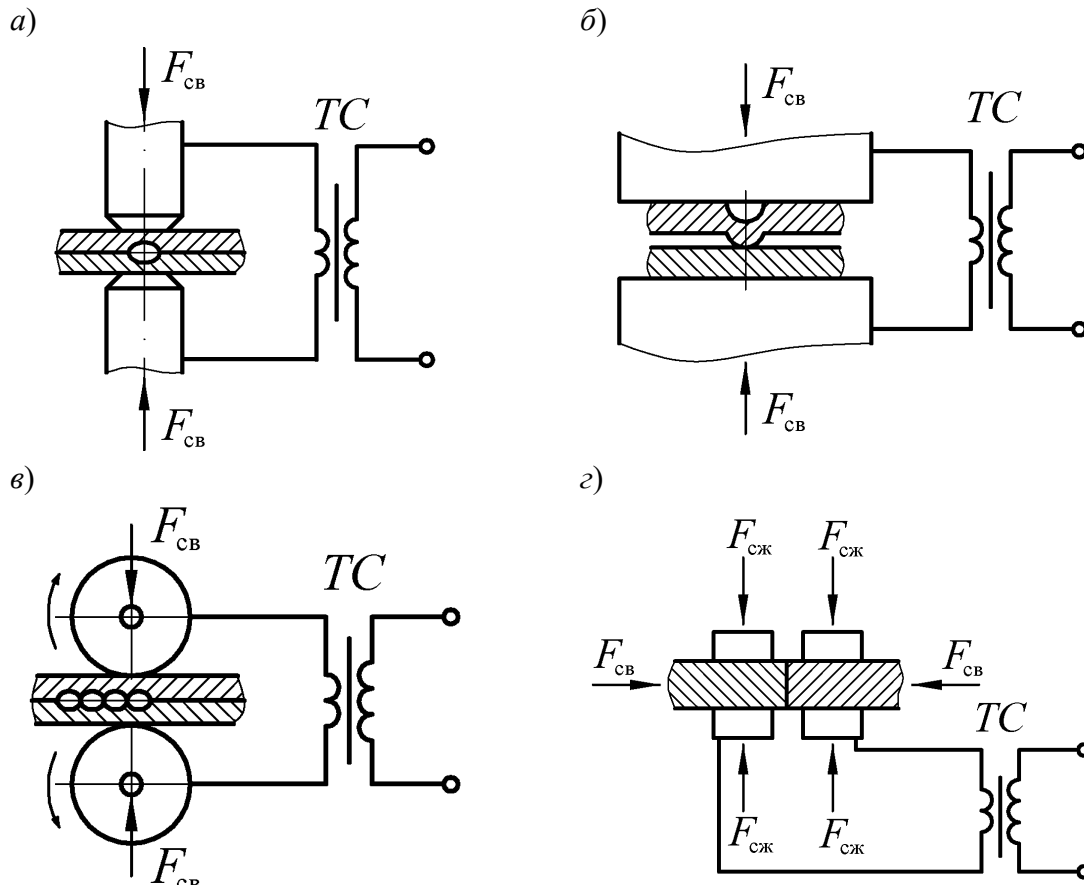
которой соединение в виде точки образуется за счёт тепла, выделяющегося в деталях при протекании тока между торцами сжатых усилием электродов. При точечной сварке свариваемые детали сжимают усилием $F_{\text{св}}$ при помощи электродов, к которым подключена вторичная обмотка сварочного трансформатора $ТС$ (рисунок 1, *а*). Детали нагреваются протекающим сварочным током до образования зоны взаимного расплавления, называемой ядром сварного соединения. Нагрев зоны сварки сопровождается пластической деформацией металла межэлектродной зоны. Вокруг ядра сварного соединения (сварной точки) образуется уплотняющий пояс, предохраняющий жидкий металл от выплеска и взаимодействия с окружающим воздухом. Когда расплавленный металл достигает заданного объема, сварочный ток выключается, тепловыделение в зоне соединения прекращается и металл сварной точки кристаллизуется. Через определенный промежуток времени усилие на электродах снимается.

Контактная рельефная сварка – разновидность контактной сварки, при которой соединение деталей происходит на отдельных участках по заранее подготовленным выступам (рельефам) (рисунок 1, *б*). На поверхности одной из деталей предварительно формируют рельеф, который ограничивает начальную площадь контакта деталей. При нагреве металл рельефа деформируется. На определенной стадии протекания тока формируется ядро, как и при точечной сварке. Обычно сварка осуществляется при наличии нескольких рельефов. После прохождения тока получают одновременно несколько сварных точек.

Рельефная сварка имеет ряд разновидностей, к которым, кроме соединения внахлестку, относятся T -образная сварка, сварка крестообразных соединений из проволок, стержней и труб, контурная рельефная [2, 3].

Контактная шовная сварка – разновидность контактной сварки, при которой соединение деталей происходит между токоподводящими вращающимися дисковыми электродами (роликами), передающими усилие сжатия $F_{\text{св}}$ (рисунок 1, *в*). Свариваемые детали собирают внахлестку. Вращающиеся ролики подводят ток к деталям. В металле между электродами образуется зона расплавления. Нагрев осуществляется импульсами сварочного тока. При получении герметичных швов перекрытие точек достигается соответствующим выбором паузы между импульсами тока и скорости вращения роликов. Существует несколько разновидностей швовой сварки: непрерывная, прерывистая и шаговая [1, 4–6].

Контактная стыковая сварка – разновидность контактной сварки, при которой нагрев металла осуществляется электрическим током до температуры сварки $T_{\text{св}}$, которая может быть ниже или выше температуры плавления $T_{\text{пл}}$ соединяемых материалов, а сварка происходит по всей площади касания деталей (рисунок 1, *г*). Существует две разновидности стыковой сварки: сопротивлением ($T_{\text{св}} < T_{\text{пл}}$) и оплавлением ($T_{\text{св}} \geq T_{\text{пл}}$). Свариваемые детали закрепляются в токоподводящих зажимах с усилием зажатия $F_{\text{сж}}$ [1, 5, 6].



а – точечная; *б* – рельефная; *в* – шовная; *г* – стыковая

Рисунок 1 – Разновидности контактной сварки

Стыковую сварку как сопротивлением, так и оплавлением относят по состоянию металла в зоне сварки к сварке в твердой фазе, хотя в отдельных случаях, особенно при стыковой сварке оплавлением деталей больших сечений, стыковое соединение формируется в твердожидком состоянии.

5.3 Оценка свариваемости материала изделия, выбор и обоснование циклограммы процесса сварки

Под технологической свариваемостью понимают способность металлов образовывать прочные соединения без существенного ухудшения их технических свойств в самом соединении и в околошовной зоне.

Оценка свариваемости производится с учетом выбранного способа сварки и теплофизических свойств свариваемого материала. При этом учитываются условия протекания процесса формирования физического контакта, удаления оксидных пленок и способа образования металлических связей в твердой или жидкой фазе. В результате этого анализа должен быть выбран оптимальный для заданного материала и конструкции изделия термомодеформационный цикл сварки [1, 5, 6].

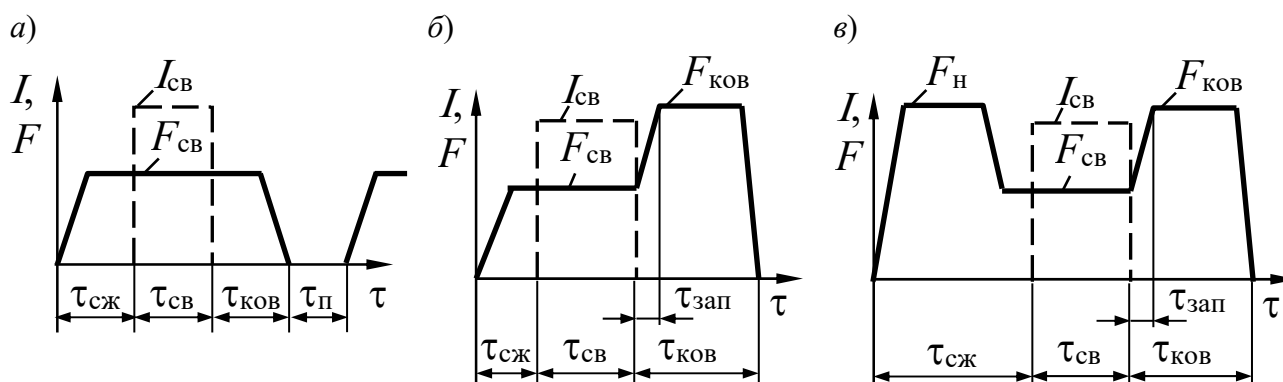
Удельное электросопротивление ρ_0 и теплопроводность λ в значительной

степени определяют жесткость режима сварки. При малых ρ_0 и большой λ выбирают жесткий режим. Такой режим применяется при сварке алюминиевых и магниевых сплавов, меди и её сплавов. Для сварки коррозионностойких сталей, имеющих большое ρ_0 и невысокую λ , выбирают мягкий режим с малой силой сварочного тока и большим временем его протекания. При жестких режимах сварки количество теплоты, передаваемое в окружающий сварную точку металл и электроды, меньше, чем при мягких режимах.

В результате комплексного анализа свойств и свариваемости конструкционные материалы можно условно разделить на группы.

Углеродистые стали подразделяются на низкоуглеродистые (содержание углерода до 0,25 %), среднеуглеродистые (0,25 %...0,6 % С) и высокоуглеродистые (более 0,6 % С). В производстве сварных конструкций наиболее востребована низкоуглеродистая сталь, поставляемая по ГОСТ 380-88. Из числа марок, содержащихся в стандарте, наиболее часто используют низкоуглеродистую сталь (до 0,22 % С) марки ВСт3 различных степеней раскисления: спокойные (сп), кипящие (кп) и полуспокойные (пс).

Низкоуглеродистые стали, имеющие низкую чувствительность к термическому циклу и выплескам, успешно варят как на мягких, так и на жестких режимах. Чаще всего используют циклограмму с постоянным усилием сжатия (рисунок 2, а). Для сварки металлов большой толщины (свыше 2 мм), применяется циклограмма с повышенным ковочным усилием (рисунок 2, б). Для устранения зазоров и предупреждения начальных выплесков, применяют циклограмму, представленную на рисунке 2, в.



$\tau_{сж}$ — длительность предварительного сжатия электродов; $\tau_{св}$ — длительность протекания сварочного тока; $\tau_{ков}$ — длительность проковки сварного соединения; $\tau_{п}$ — пауза между сварками точек в автоматическом режиме; $\tau_{зап}$ — время запаздывания

Рисунок 2 — Циклограммы процессов точечной сварки

Среднеуглеродистые стали обладают более высокими ρ_0 и сопротивлением деформации. Они склонны к закалке и кристаллизационным трещинам. В литом ядре и околоточечной зоне при неблагоприятных параметрах режима точечной сварки образуется твердый и хрупкий мартенсит.

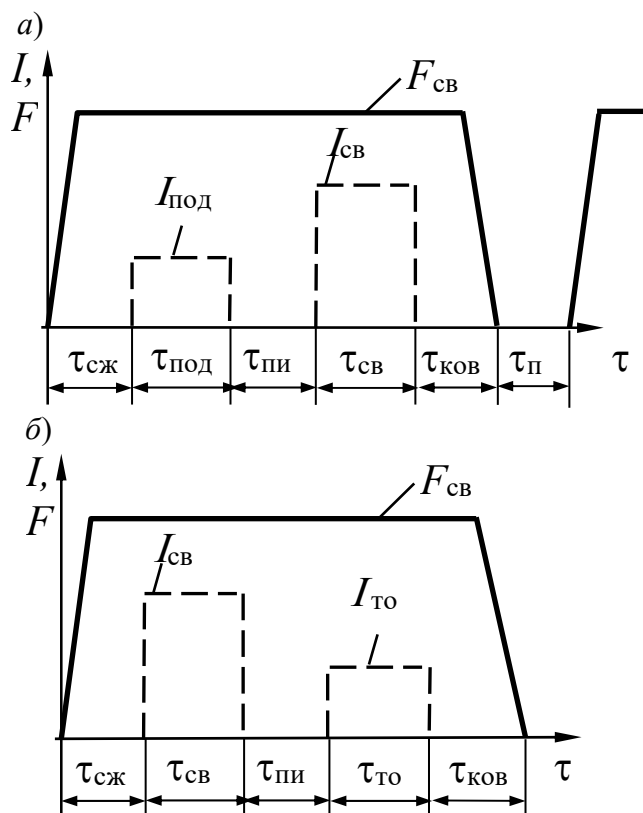


Рисунок 3 – Циклограммы процесса сварки с предварительным подогревом (а) и последующей термообработкой (б)

При сварке сталей этой группы применяются мягкие режимы с временем протекания сварочного тока в 4–5 раз большим, чем при сварке низкоуглеродистых сталей. Время предварительного подогрева $\tau_{\text{под}}$ или последующей термообработки $\tau_{\text{то}}$ и токи подогрева $I_{\text{под}}$ и термообработки $I_{\text{то}}$, время паузы между импульсами $\tau_{\text{пи}}$ и время паузы между сварками $\tau_{\text{п}}$ в автоматическом режиме выбирают из соотношений (рисунок 3, а, б).

$$\tau_{\text{под}} = \tau_{\text{то}} = (1,5 \dots 1,8) \tau_{\text{св}};$$

$$I_{\text{под}} = I_{\text{то}} = (0,7 \dots 0,8) I_{\text{св}};$$

$$\tau_{\text{пи}} = 0,02 \dots 0,04 \text{ с};$$

$$\tau_{\text{п}} = (1,1 \dots 1,5) \tau_{\text{св}}.$$

Усилие сжатия $F_{\text{св}}$ увеличивают в 1,5–2 раза по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей. При сварке

сталей толщиной свыше 2 + 2 мм часто применяют циклограмму процесса с увеличенным ковочным усилием и тремя импульсами тока.

Высокоуглеродистые стали при изготовлении сварных конструкций применяются редко. Сварку этих сталей надо осуществлять на мягких режимах сварки или на режимах, предусматривающих предварительный подогрев и последующую термообработку (см. рисунок 3). После сварки высокоуглеродистых сталей на умеренно мягком режиме требуется полная термическая обработка изделия в печи.

Низколегированные стали (содержание легирующих элементов Mn, Ni, Cr, Si, Ti, Zr, Nb, Mo и др. до 2,5 %) соединяют точечной сваркой на тех же режимах, что и среднеуглеродистые стали.

Стали аустенитного класса (12X18H10T, 04X18H10T и др.) отличаются высокой прочностью и пластичностью. Они обладают высоким ρ_0 и малой λ . Поэтому при сварке этих сталей ток существенно меньше, чем при сварке низкоуглеродистых сталей.

При сварке сталей толщиной до 2 мм применяют циклограмму с постоянным сварочным усилием, а при сварке металла толщиной более 2 мм – с повышенным ковочным усилием (см. рисунок 2, а, б).

Жаропрочные стали и сплавы (ХН75МБТЮ, ХН70Ю, ХН38ВТ и др.), а также сплавы повышенной жаропрочности (ХН70ВМТЮФ, ХН56ВМТЮ и др.) отличаются большим ρ_0 и невысокой λ . Поэтому сварочный ток составляет 60 %...70 % от тока при сварке низкоуглеродистых сталей. Время протекания

тока соответственно увеличивают в 2–4 раза, а усилие сжатия – в 2,5–4 раза. Чаще всего используют циклограммы, представленные на рисунке 2, а, б. Применяются электродные материалы с повышенной твердостью (до 240 МПа).

Титановые сплавы имеют высокое ρ_0 , поэтому при их сварке ток снижают на 30 %...40 % по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей. Они обладают хорошей свариваемостью как на мягких, так и на жестких режимах. Чаще всего используется циклограмма, представленная на рисунке 2, а.

Алюминиевые и магниевые сплавы характеризуются малым ρ_0 , большой λ и высоким коэффициентом линейного расширения α . Поверхность алюминиевых сплавов покрыта тугоплавкой пленкой окислов, которую перед сваркой необходимо удалять. Сварку выполняют на жестких режимах электродами со сферической поверхностью. Применяется циклограмма с повышенным ковочным усилием (см. рисунок 2, б).

Магниевые сплавы чувствительны к массопереносу в контакте «электрод – деталь», что вызывает необходимость частой зачистки электродов.

Медь и её сплавы трудно свариваются контактной сваркой вследствие их малого ρ_0 и большой λ , а также узкого диапазона температур, в котором металл может свариваться давлением. Свариваемость медных сплавов улучшается по мере повышения ρ_0 и снижения λ . Чаще контактная сварка применяется для латуней и кремнистых бронз. Хорошо свариваются α -латуни (например, марки Л68), электрическая проводимость которых не более 28 % электрической проводимости меди.

Хорошо свариваются кремнистая бронза (до 4 % Si, электрическая проводимость равна примерно 10 % электрической проводимости меди) и медно-никелевые сплавы, например мельхиор (80 % Cu, 20 % Ni, электрическая проводимость равна 8 % электрической проводимости меди).

Очистка контактной поверхности заготовок производится механическим способом, а также травлением в тетрахлорметане или растворе каустической соды с последующей промывкой в проточной воде.

Для медных сплавов применение мягких режимов нецелесообразно. Обычно длительность нагрева медных сплавов при точечной сварке ограничивается 0,2...0,4 с. Точечная сварка латуни производится короткими импульсами при больших значениях сварочного тока. В связи с высокой электрической проводимостью латуни толщина свариваемых листов на одной и той же машине принимается примерно в 2 раза меньше, чем толщина листов из стали.

Шовная сварка латуни требует относительно большого удельного давления электродов, чем точечная.

При точечной сварке медных сплавов с высоким электросопротивлением (кремнистая бронза, мельхиор) по сравнению со сваркой низкоуглеродистой стали ток увеличивают примерно на 25 %, мощность на 50 %, усилие сжатия электродов принимают близким усилию сжатия при сварке стали.

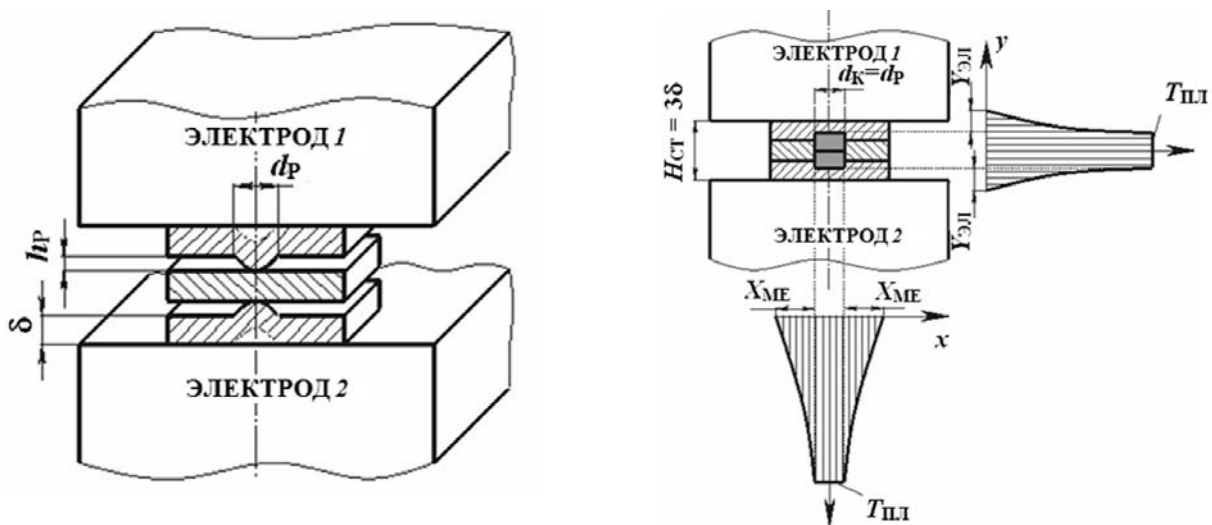
Никель чаще всего сваривают двумя импульсами тока: первый подогревает металл зоны сварки, второй – сваривает. Хорошие результаты дает применение модуляции переднего фронта импульса тока.

5.4 Расчетная часть

5.4.1 Расчет параметров режима. Расчет параметров режима контактной точечной, рельефной или шовной сварки начинается с составления уравнения теплового баланса. Уравнение теплового баланса позволяет рассчитать полную энергию, которую необходимо ввести в межэлектродную зону при сварке для того, что сформировалось сварное соединение таких размеров и формы, которые соответствуют ГОСТ 15878–79.

Для расчета уравнения теплового баланса помимо теплофизических характеристик свариваемого металла и материала электродов, а также геометрии деталей и контактов необходимо заранее знать длительность протекания сварочного тока $\tau_{\text{св}}$, с. Для этого можно воспользоваться литературой по контактной сварке, где в табличном виде имеются рекомендуемые значения $\tau_{\text{св}}$, ранее определенные опытным путем и апробированные на различных предприятиях для контактной сварки различными способами наиболее распространенных толщин и материалов.

Схема расчета уравнения теплового баланса на примере контактной рельефной сварки пакетного соединения, состоящего из трех деталей, представлена на рисунке 4.



δ — толщина свариваемой детали, см; d_p — диаметр рельефа, см; h_p — высота рельефа, см; d_k — диаметр области контакта «электрод — деталь» $S_{\text{эл-д}}$, по которой преимущественно протекает ток и идет теплоотвод в электроды, см; $H_{\text{ст}}$ — условная высота центрального столбика металла, формируемого полезной энергией, см; $X_{\text{ме}}$ — ширина условного кольца нагрева металла зоны термического влияния, см; $Y_{\text{эл}}$ — глубина теплоотвода в электроды, см

Рисунок 4 — Схема расчета уравнения теплового баланса при рельефной сварке пакетного соединения

В общем случае применительно к процессам контактной точечной, рельефной и шовной сварки уравнение теплового баланса выглядит следующим образом [1, 5]:

$$Q_{\Sigma\Sigma} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{ме}} + Q_{\text{эл}}, \quad (1)$$

где $Q_{\Sigma\Sigma}$ – полное количество энергии, затрачиваемой на образование литой зоны (литая точка определенного диаметра – при точечной и рельефной сварке; литая зона определенной ширины – при шовной сварке), Дж;

$Q_{\text{пол}}$ – полезная энергия, затрачиваемая непосредственно на нагрев и расплавление центрального столбика металла определенной высоты (зависящей от количества и толщины свариваемых деталей) и площади сечения, Дж;

$Q_{\text{ме}}$ – энергия, затрачиваемая на нагрев металла зоны термического влияния (имеющей условную форму кольца, окружающего литую зону). Средняя температура нагрева кольца металла равна $T_{\text{пл}}/4$, Дж;

$Q_{\text{эл}}$ – энергия, затрачиваемая на теплоотвод в электроды по соответствующей площади контакта «электрод – деталь», Дж.

Формулы расчета энергий в общем виде следующие:

$$Q_{\text{пол}} = n \cdot \delta \cdot c_{\text{ме}} \cdot \gamma_{\text{ме}} \cdot S_{\text{д-д}} \cdot T_{\text{пл}}; \quad (2)$$

$$Q_{\text{ме}} = n \cdot \delta \cdot k_1 \cdot \pi \cdot X_{\text{ме}} \cdot (d_{\text{р}} + X_{\text{ме}}) \cdot c_{\text{ме}} \cdot \gamma_{\text{ме}} \cdot \frac{T_{\text{пл}}}{4}; \quad (3)$$

$$Q_{\text{эл}} = 2 \cdot k_2 \cdot S_{\text{эл-д}} \cdot Y_{\text{эл}} \cdot c_{\text{эл}} \cdot \gamma_{\text{эл}} \cdot \frac{T_{\text{пл}}}{8}, \quad (4)$$

где n – количество свариваемых деталей, шт.;

δ – толщина свариваемой детали, см;

$c_{\text{ме}}$ – удельная теплоемкость свариваемого металла, Дж/(г·°C);

$\gamma_{\text{ме}}$ – плотность свариваемого металла, г/см³;

$S_{\text{д-д}}$ – площадь контакта «деталь – деталь», см²;

$T_{\text{пл}}$ – температура плавления свариваемого металла, °C;

k_1 – коэффициент, учитывающий, что средняя температура условного кольца нагрева несколько ниже средней температуры $T_{\text{пл}}/4$, $k_1 = 0,8$;

$X_{\text{ме}}$ – ширина условного кольца нагрева металла, см;

$d_{\text{р}}$ – диаметр рельефа;

k_2 – коэффициент, учитывающий форму электрода (для цилиндрического электрода $k_2 = 1$, для конического $k_2 = 1,5$, для сферического $k_2 = 2$);

$S_{\text{эл-д}}$ – площадь области контакта «электрод–деталь», определяемая размерами рельефа, $S_{\text{эл-д}} = S_{\text{д-д}}$, см²;

$Y_{\text{эл}}$ – глубина теплоотвода в электроды, см;

$c_{\text{эл}}$ – удельная теплоемкость материала электродов, Дж/(г·°C);

$\gamma_{\text{эл}}$ – плотность материала электродов, г/см³.

Ширина нагрева кольца металла $X_{\text{ме}}$, см, определяется по формуле

$$X_{\text{ме}} = 4\sqrt{a_{\text{ме}} \tau_{\text{св}}}, \quad (5)$$

где $a_{\text{ме}}$ – коэффициент температуропроводности металла детали, см²/с;

$\tau_{\text{св}}$ – длительность протекания сварочного тока, с.

Средняя температура нагрева электродов равна $T_{Пл}/8$. Условная глубина теплоотвода в электроды $Y_{Эл}$, см, рассчитывается по формуле

$$Y_{Эл} = 4\sqrt{a_{Эл}\tau_{св}}, \quad (6)$$

где $a_{Эл}$ – температуропроводность материала электродов.

Теплофизические характеристики наиболее распространенных конструкционных материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Некоторые теплофизические характеристики материалов

Материал	γ , г/см ³	c , Дж/(г·°C)	a , см ² /с	$T_{Пл}$, °C
Сталь 08кп	7,86	0,71	0,1	1530
Сталь 30ХГСА	7,85	0,48	0,104	1480
Сталь 12Х18Н10Т	7,86	0,54	0,054	1440
Сталь ХН60ВТ, ВЖ98	8,8	0,44	0,025	1400
Сталь Х15Н5Д2Т	7,76	0,461	0,05	1450
Алюминиевый сплав Д16Т	2,8	0,921	0,5	650
Титановый сплав ОТ4	4,6	0,58	0,04	1660
Латунь Л62	8,5	0,38	0,34	898
Бронза БрХ-1	8,92	0,388	0,91	1081
Бронза БрХЦр	8,92	0,388	1,06	1080
Бронза БрХВЦр	8,83	0,394	1,06	1080
Бронза БрБ2	8,23	0,419	0,243	955
Медь М1	8,94	0,43	0,96	1083

После расчета уравнения теплового баланса и получения величины полной энергии, необходимой для ввода в межэлектродную зону, по закону Джоуля – Ленца рассчитывается действующее значение сварочного тока $I_{св}$, А, необходимого для дальнейших расчетов в курсовой работе:

$$I_{св} = \sqrt{\frac{Q_{ЭЭ}}{m_R \cdot 2r_{дк} \cdot \tau_{св}}}, \quad (7)$$

где $2r_{дк}$ – среднее действующее сопротивление межэлектродной зоны в момент выключения сварочного тока, $2r_{дк} = r_{ЭЭК}$, Ом (таблицы 2 и 3);

m_R – коэффициент, учитывающий изменение $r_{ЭЭ}$ в процессе протекания сварочного тока (для низкоуглеродистых сталей $m_R = 1$, для алюминиевых и магниевых сплавов $m_R = 1,15$, для коррозионно-стойких сталей $m_R = 1,2$, для сплавов титана $m_R = 1,4$).

Требуемую величину сварочного тока $I_{св}^{ТР}$, А, при наличии ранее сваренных точек необходимо скорректировать с учетом тока шунтирования. Для

точечной сварки ток шунтирования определяется по формуле

$$I_{\text{ш}} = I_{\text{св}} \cdot \frac{\delta}{t_{\text{ш}}}, \quad (8)$$

где δ – толщина свариваемого металла, см;

$t_{\text{ш}}$ – шаг между сварными точками, см.

Таблица 2 – Величина $r_{\text{ЭК}}$ при точечной сварке низкоуглеродистой стали

δ , мм	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7
$r_{\text{ЭК}}, 10^{-6} \text{ Ом}$	128	112	98	89	82	75,5	69,5	61,5	56	52,5

Таблица 3 – Величина $r_{\text{ЭК}}$ при контактной сварке металлов и сплавов

Материал	$r_{\text{ЭК}}, \text{ мкОм (в конце процесса сварки)}$										
	Толщина металла, мм										
	Точечная сварка						Шовная сварка				
	0,3	0,5	1	1,5	2	3	0,3	0,5	1	1,5	2
Сталь 08кп	150	135	115	100	90	75	110	95	80	70	50
Сталь 30ХГСА	165	145	125	110	100	90	145	130	105	85	65
Нержавеющая сталь 12Х18Н10Т	215	185	150	130	120	110	188	162	130	115	105
Жаропрочный сплав ХН60ВТ, ВЖ98	230	200	165	140	125	115	210	180	150	128	113
Сталь Х15Н5Д2Т	195	165	135	120	110	100	170	145	115	105	95
Титановый сплав ОТ4	240	210	165	145	133	120	224	195	154	135	124
Латунь Л62	76	48	30	24	20	18	46	29	18	15	12
Медный сплав БрБ2	90	63	40	32	27	23	54	38	24	19	16
Алюминиевый сплав Д16Т	18	16	13	11	10	8	–	14	11	10	8

В результате

$$I_{\text{св}}^{\text{ТР}} = I_{\text{св}} + I_{\text{ш}}.$$

Для шовной сварки величина требуемого сварочного тока корректируется с учетом 10 %...30 % потерь энергии на шунтирование, т. е. $I_{\text{св}}^{\text{ТР}} = (1,1 \dots 1,3) I_{\text{св}}$.

После расчета требуемого сварочного тока по формуле (8) необходимо рассчитать приблизительный длительный вторичный ток $I_{2\text{дл}}$, А, исходя из циклограммы процесса точечной сварки (см. рисунок 2), по формуле

$$I_{2\text{дл}} = I_{\text{св}}^{\text{ТР}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}\%}{100}} = I_{\text{св}}^{\text{ТР}} \cdot \sqrt{\frac{\tau_{\text{св}}}{\tau_{\text{сж}} + \tau_{\text{св}} + \tau_{\text{ков}} + \tau_{\text{п}}}}, \quad (9)$$

где ПВ% – продолжительность включения;

$\tau_{сж}$ – длительность предварительного сжатия электродов, с;

$\tau_{ков}$ – длительность проковки сварного соединения (выдержка деталей в сжатом состоянии после выключения сварочного тока), с;

$\tau_{п}$ – пауза между сварками точек в автоматическом режиме, с.

Затем по ГОСТ 10594–80 необходимо принять ближайшее большее значение длительного вторичного тока из ряда типичного оборудования (трансформаторов), серийно выпускаемого для контактной сварки.

Оборудование для контактной сварки должно быть изготовлено на следующие номинальные длительные вторичные токи: (1000), 1100, (1250), 1400, (1600), (1800), (2000), 2200, (2500), 2800, (3200), 3600, (4000), 4500, (5000), 5600, (6300), 7100, (8000), 9000, (10000), 11000, (12500), 14000, (16000), 18000, (20000), 22000, (25000), 28000, (32000), 36000, (40000), 45000, (50000), 56000, (63000) А.

Затем уточняем значение номинального сварочного тока $I_{2дл}$, А, по формуле

$$I_{св ном} = I_{2дл} \cdot \sqrt{\frac{100}{ПВ\%}}. \quad (10)$$

5.4.2 Выбор контактной машины. Выбор машины для контактной сварки осуществляется по значениям требуемого сварочного тока и длительного вторичного тока из справочников или каталогов продукции современных фирм-производителей [7, 8].

Обоснование конструкторской схемы установки приводится на основе анализа авторских свидетельств и патентов (отечественных и зарубежных) и изучения конструкций и схем выпускаемых установок подобного класса. В результате этой работы должна быть выбрана схема проектируемого оборудования и проведено обоснование принятого варианта.

Описание электрической схемы силовой части, пневматической схемы привода сжатия, схемы охлаждения берётся из паспорта машины для контактной сварки. При отсутствии таких данных можно взять типовую схему для данного класса установок из литературных источников [7, 8].

Принципиальная электрическая схема машины для контактной точечной сварки типа МТ-4019 представлена на рисунке 5. Данная схема является типовой для машин переменного тока [7].

Напряжение сети подается и снимается через автоматический выключатель $F1M$ (ток номинальный $I_{ном} = 400$ А, ток уставки расцепителя $I_{уст} = 3200$ А), который обеспечивает защиту электрических цепей от коротких замыканий, аварийное отключение с помощью кнопки $S1F$, выключение машины при открывании двери, блокируемой конечным выключателем $S2F$.

Регулятор времени импульсный $E1$ (РВИ-801) обеспечивает заданную последовательность и продолжительность операций цикла сварки, а также плавное фазовое регулирование сварочного тока. Коммутация сварочного тока осуществляется тиристорным контактором $E2$. Для снижения уровня радио-

помех установлен помехоподавляющий фильтр $E3$ (R – C -цепь). Переключатель ступеней $S5$ позволяет получить ступенчатое регулирование вторичного напряжения в сварочном трансформаторе $T1M$.

Включение машины в работу осуществляется переносной педальной кнопкой $S4$. Сигнальная лампа $H1$ указывает на готовность машины к сварке. Переключатель режимов работы $S3$ позволяет производить наладку сварочного цикла без тока. Электромагнитные клапаны $Y1K$ и $Y2K$ управляют пневмоприводом усилия сжатия.

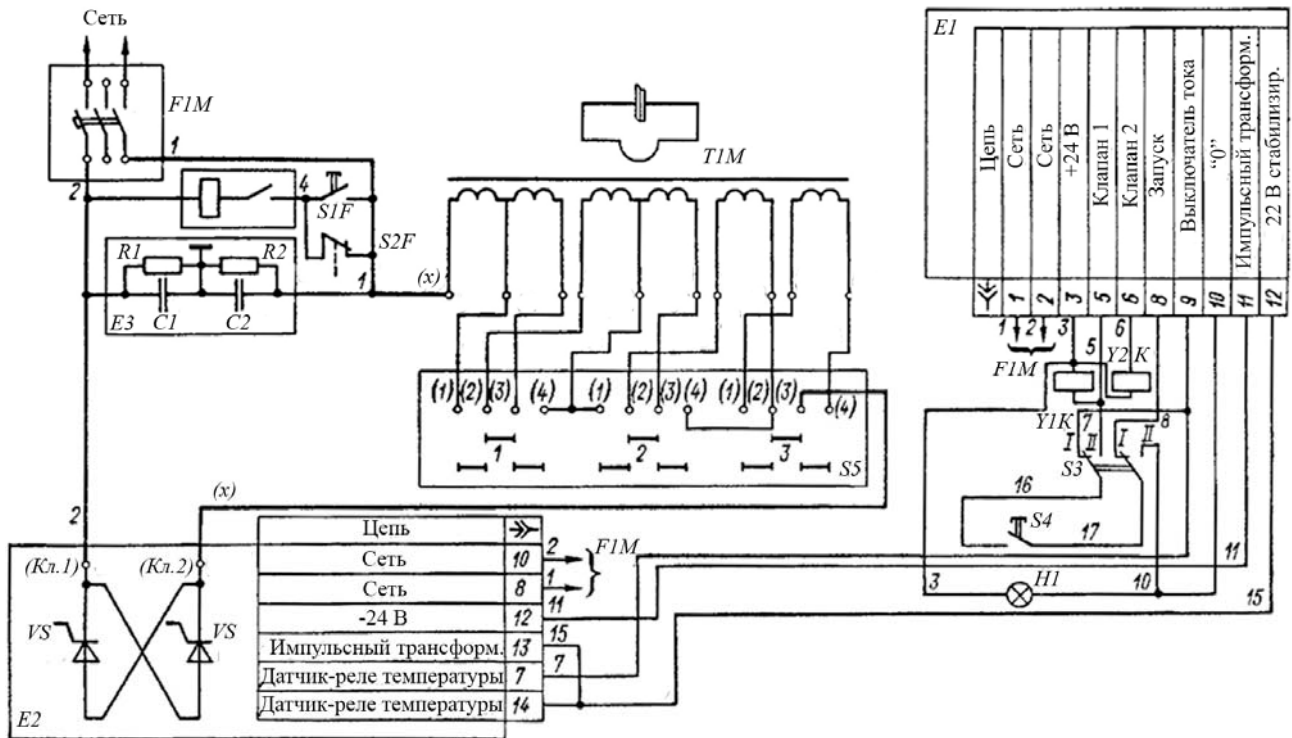


Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема машины для контактной точечной сварки типа МТ-4019

Принципиальная электрическая схема универсальной шовной машины марки МШ-3207 приведена на рисунке 6 [8]. Исполнительными устройствами в машине являются тиристорный контактор $A3$, подключающий трансформатор TM , два электропневмоклапан $YA1$ и $YA2$, запускающие привод сжатия, а также тиристорный электропривод $A1$, питающий коллекторный двигатель постоянного тока M с обмоткой возбуждения LM и дросселями $L1$ и $L2$. Необходимый цикл сварки, а также плавную регулировку тока обеспечивает регулятор $A2$. До включения машины в сеть переключками $X1$ и $X2$ устанавливают необходимую ступень трансформатора, открыванием вентилей подают в машину сжатый воздух и воду и настраивают необходимое усилие сжатия и расход воды. Потенциометром RP настраивают необходимую скорость сварки. Тумблером SA подключают цепь питания электропневмоклапана $YA2$, если необходим диапазон малых сварочных усилий. Регулятором $A2$ настраивают все этапы цикла и величину сварочного тока.

Однофазное сетевое напряжение подается в машину с помощью автоматического выключателя QF , что контролируют с помощью сигнальной лампы HL «сеть». Для экстренного прекращения сварки используют аварийную кнопку $SB1$, автоматический выключатель также реагирует на несанкционированное открывание дверей машины благодаря срабатыванию концевых выключателей $SQ1$ или $SQ2$. Для начала сварки устанавливают на нижнем электроде заготовки, после чего нажимают педальную кнопку $SB2$, которая затем может быть отпущена – далее цикл выполняется автоматически.

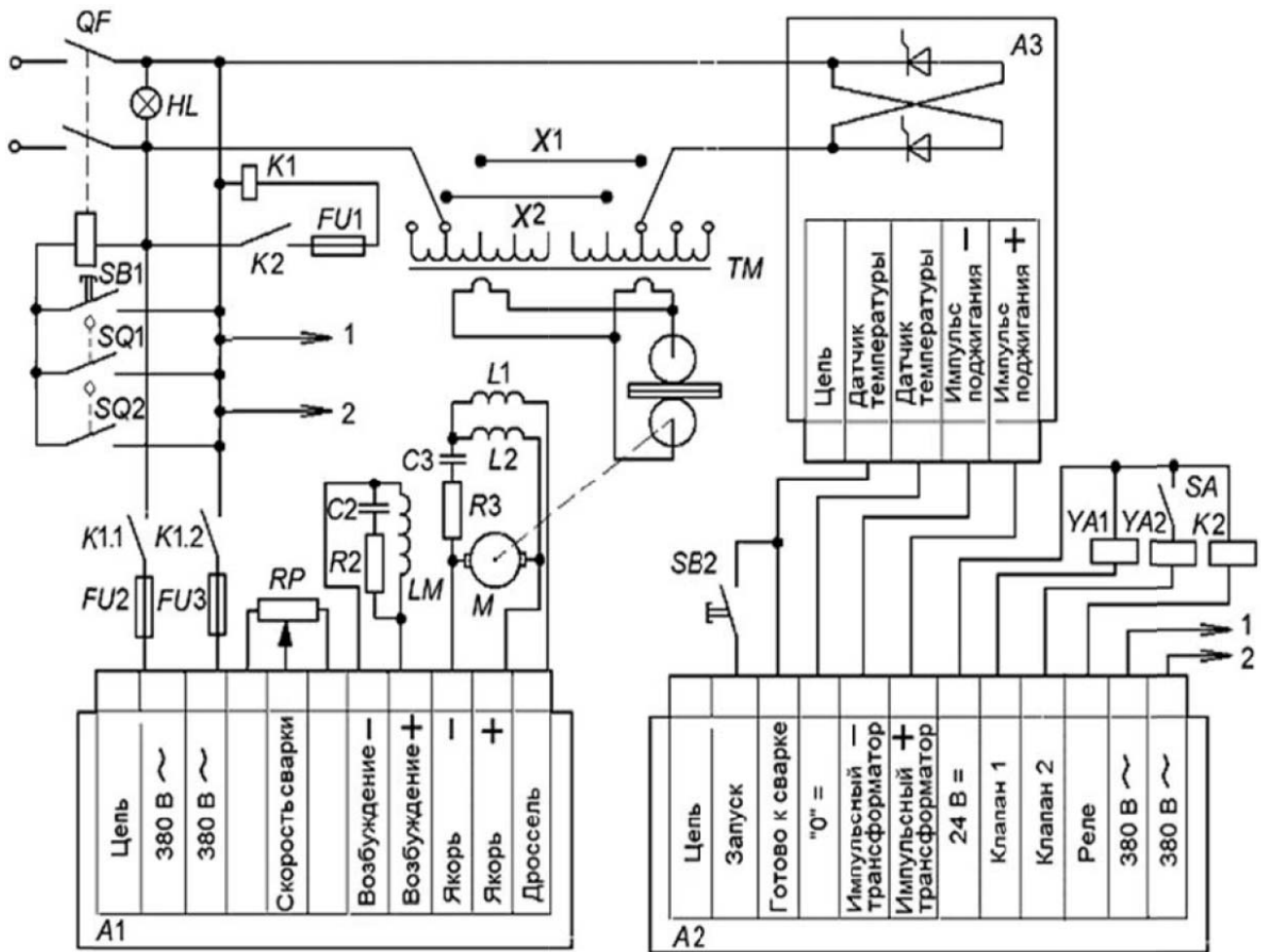


Рисунок 6 – Принципиальная электрическая схема машины шовной сварки МШ-3207

Сначала по команде регулятора цикла будут включены электропневмоклапаны $YA1$ и $YA2$, оба или один, и начнется отсчет этапа «предварительное сжатие», в течение которого электроды сожмут деталь настроенным усилием. По окончании этого этапа будет включено реле $K2$, которое пускателем $K1$ запустит в работу тиристорный электропривод $A1$, а последний включит двигатель вращения электродов M , и одновременно начнется отсчет этапа «сжатие». По его окончании от регулятора цикла на тиристорный контактор $A3$ придет команда на включение сварочного тока, и начнется непрерывное чередование этапов «импульс» и «интервал», обеспечивающее процесс импульсной шовной сварки. Для окончания сварки педальную кнопку $SB2$ нажимают повторно. Ти-

ристорный контактор отключится. Затем выключатся электропневмоклапаны – и верхняя электродная головка поднимется, выключится двигатель – и ролики остановятся. Сварка окончена.

5.4.3 Сварочные контуры контактных машин. Конструктивная схема сварочного (вторичного) контура показана на рисунке 7. Сварочный контур – это система токоведущих элементов и электрических контактов, обеспечивающая подвод электрического тока от вторичного витка трансформатора к свариваемым деталям. В машинах точечной сварки контур состоит из электродов *1*, *10*, электрододержателей *2*, *9*, гибких *4*, *6* и жестких *5* шин, консолей *3*, *7*, хобота *8*, а также ряда других элементов. Размеры и конструкция элементов сварочного контура зависят от типа машины, сварочного тока, усилия сжатия, необходимой формы рабочего пространства. Чем дальше расположены электроды от трансформатора, тем больше вылет *l* и раствор *h*, тем больше размеры деталей, которые могут быть сварены на данной машине.

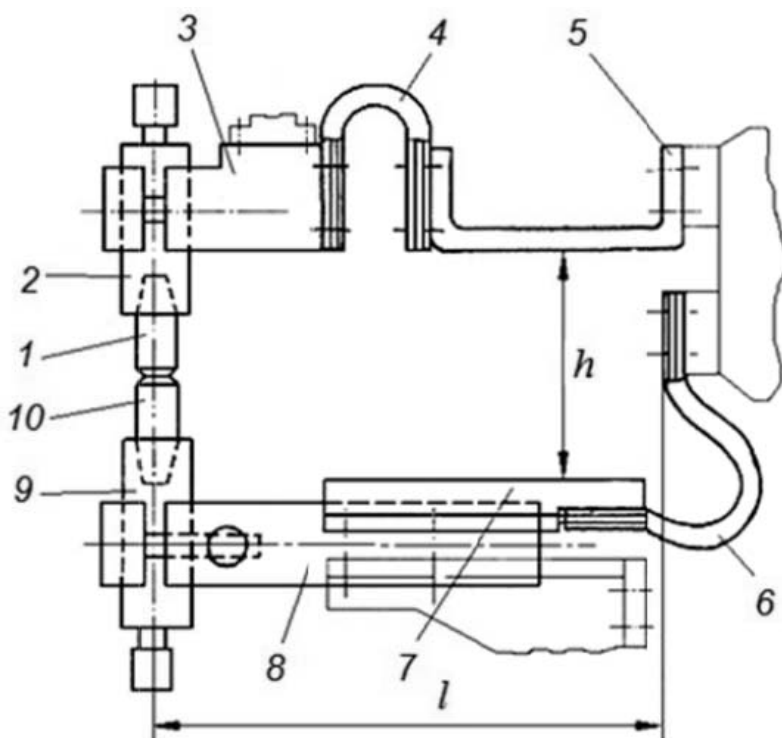


Рисунок 7 – Сварочный контур точечной машины

Однако увеличение размеров сварочного контура влечет за собой увеличение его сопротивления, а также потери электрической энергии. Поэтому величина вылета *l* вполне определена для каждой машины и должна соответствовать стандарту или техническому условию на машины, например 300, 500, 800, 1200, 1500 или 1700 мм. Величина раствора *h* увеличивается с ростом вылета, но в любом случае оказывается не менее 100 мм.

Контакты – участки соединения токоведущих элементов сварочного контура – имеют переходное сопротивление всего в несколько микроом. Но при большой величине проходящего по ним сварочного тока потери энергии в них

могут достигать нескольких киловатт. Поэтому при сборке контакты зачищают и надежно стягивают болтовыми соединениями, а при эксплуатации регулярно контролируют величину переходного сопротивления.

Верхняя консоль 3 и хобот 8 подводят ток к электрододержателям. Они также передают механическое усилие сжатия на свариваемые детали. Хобот имеет возможность поворота вокруг оси и сдвига в продольном направлении. Это облегчает регулировку соосности электродов и переналадку машины в зависимости от формы свариваемых узлов. Кроме того, хобот вместе с нижним кронштейном можно перемещать вверх-вниз для настройки раствора h [8].

Электрододержатели служат для крепления электродов, являясь силовыми и токоведущими элементами. Их изготавливают из медных сплавов с высокой электропроводимостью и интенсивно охлаждают проточной водой.

Электроды непосредственно подводят сварочный ток к деталям и сжимают детали друг с другом. Требования к ним изложены в ГОСТ 14111–90 (рисунок 8, таблица 4). Главный параметр электрода – диаметр $D_{\text{э}}$ назначается в зависимости от усилия сжатия $F_{\text{э}}$ [5, 7–9].

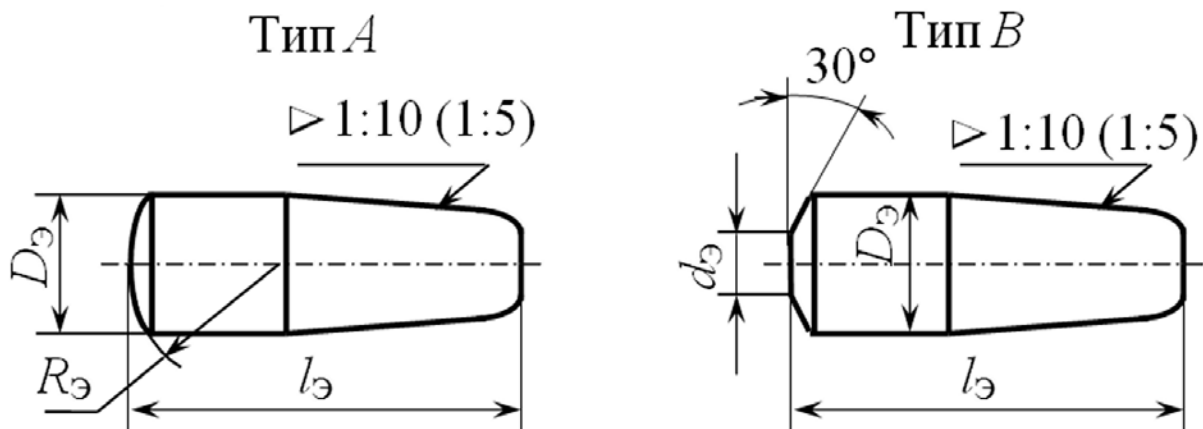


Рисунок 8 – Прямые электроды для точечной сварки

Форма рабочей поверхности электрода зависит от его назначения. Тип А имеет сферическую рабочую поверхность, стойкую к смятию и износу и рекомендуемую при сварке легких сплавов, таких как алюминий. Тип В имеет форму усеченного конуса, причем диаметр наконечника электрода $d_{\text{э}}$ является важным параметром режима точечной сварки, поскольку концентрирует тепловыделение в свариваемых деталях и определяет размер ядра сварной точки $d_{\text{я}}$. Диаметр наконечника зависит от толщины δ свариваемых деталей и определяется по соотношению $d_{\text{э}} = 2\delta + 3$ мм. Электрод типа В используется при сварке стали и большинства других конструкционных материалов.

Для обеспечения необходимой эксплуатационной работоспособности электродный металл должен иметь высокие электро- и теплопроводность, твердость и температуру рекристаллизации и низкую склонность к массопереносу в контакте «электрод – деталь». Оптимальное выполнение перечисленных требований достигается при использовании медных бронз. Чистая медь, напри-

мер холоднотянутая марки М1, имеет низкую температуру рекристаллизации 200 °С, поэтому используется редко и только при сварке алюминиевых, магниевых и медных сплавов. Для этих же целей полезней использовать кадмиевую бронзу БрКд1 и сплав с небольшой (0,1 %) добавкой серебра БрСр. Их электропроводность составляет не ниже 90 % от электропроводности меди, зато твердость в нагартованном состоянии на 20 %...40 % выше, чем у меди, а температура рекристаллизации достигает 360 °С. Для сварки сталей и титановых сплавов используют дисперсионно твердеющие сплавы с меньшей электропроводностью (до 80 %), но с более высокими твердостью и температурой рекристаллизации: хромовую бронзу БрХ (до 1 % Cr), хромо-кадмиевую БрХКд и хромоциркониевую БрХЦр. Еще более высокой твердостью обладает никельбериллиевая бронза БрНБТ, рекомендуемая для сварки жаропрочных сплавов [8].

Таблица 4 – Размеры прямых электродов для контактной точечной сварки

Диаметр электрода, $D_{\text{э}}$, мм	Диаметр наконечника $d_{\text{э}}$, мм	Радиус сферы $R_{\text{э}}$, мм	Длина электрода $l_{\text{э}}$, мм	Усилия сжатия $F_{\text{э}}$, кН
10	4	25	29...63	2,5
13	5	32	32...79	4
16	6	40	40...100	6,3
20	8	50	50...105	10
25	10	63	56...111	16
32	12,5	80	72...120	25
40	16	100	90...130	40

Вторичные контуры контактных машин по своей конфигурации отличаются большим многообразием. Они могут быть составлены как из прямоугольных, так и криволинейных участков различных сечений в зависимости от мощности. Участки контура могут быть ориентированы в пространстве относительно друг друга самым различным образом.

Например, сварочный контур контактной стыковой машины представлен на рисунке 9 [8].

Элементы контура: гибкие шины 1 и 4, жесткие колодки 2 и 3, а также сварочные электроды – контактные губки 5. Все эти детали изготовляют из высокоэлектропроводных металлов – меди и бронзы. В мощных машинах элементы сварочного контура и их контакты охлаждаются проточной водой.

Контактные губки стыковых машин имеют призматическую форму и кроме подвода тока выполняют еще функцию крепления свариваемых деталей. Поэтому они обычно имеют угловую или полукруглую (по окружности свариваемого стержня или трубы) канавку. При сварке деталей другой формы (полоса, уголок и пр.) применяют губки с соответствующей формой контактной поверхности. Длину губок выбирают такой, чтобы обеспечить соосность деталей и предотвратить их проскальзывание при осадке. При сварке стержней

она составляет 3...4 их диаметра, а при сварке полос – не менее 10 толщин полосы. Поскольку площадь токоподвода в губках существенно больше, чем у электродов точечных машин, то допустимо их изготовление из бронз с относительно низкой электропроводностью, но с высокой твердостью, например, марок БрХ или БрНБТ. Прижимные губки, входящие в состав зажимных механизмов, как правило, ток не проводят, поэтому изготавливаются, например, из закаленной стали 40Х.

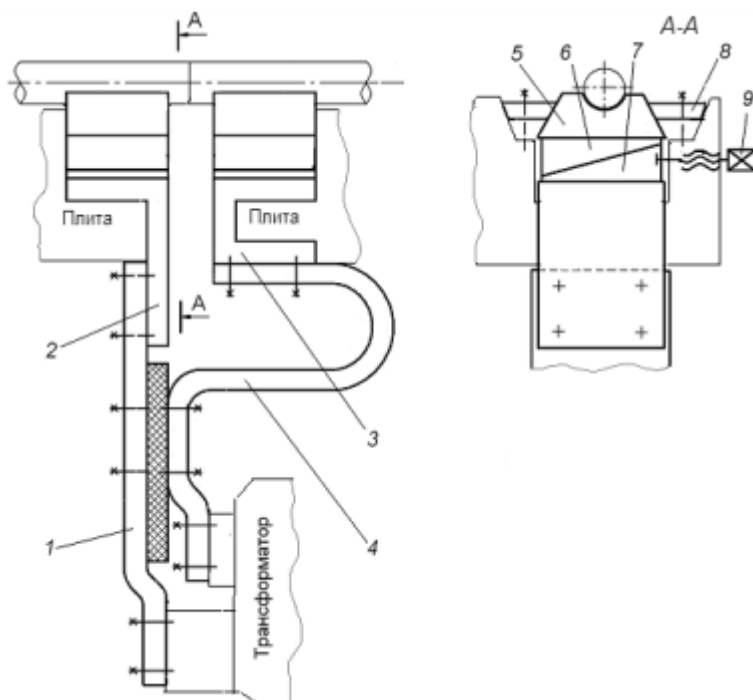


Рисунок 9 – Сварочный контур контактной стыковой машины

Для обеспечения соосности свариваемых деталей необходимо настроить совпадение опорных поверхностей у обеих контактных губок. Соосность заготовок по вертикали настраивают винтовым приводом 9, с помощью которого перемещается нижняя клиновидная подушка 7, опуская или поднимая верхнюю клиновидную подушку 6, а вместе с ней и контактную губку 5. Для обеспечения соосности в поперечном направлении переставляют трапециевидные крепежные планки 8.

5.4.4 Расчет вторичного контура. Полное сопротивление сварочной машины Z_M складывается из активного r_{BK} и индуктивного x_{BK} сопротивлений вторичного контура, приведенных активного и индуктивного сопротивлений сварочного трансформатора r_T и x_T и сопротивления $r_{ЭЭ}$ участка «электрод – электрод».

Расчет r_{BK} и x_{BK} производится после уточнения геометрических размеров вторичного контура машины и выбора сечений всех его элементов [5, 10].

Минимальное требуемое сечение любого i -го элемента вторичного контура контактной машины $q_{i \min}$ выбирается прежде всего исходя из температуры допустимого нагрева данного элемента, а затем корректируется в зависимости

от требуемых конструктивных форм. Минимально допустимое сечение i -го элемента $q_{i \min}$ рассчитывается по формуле

$$q_{i \min} = I_{2 \text{ дл}} / J_i, \quad (11)$$

где J_i – плотности тока в элементах вторичного контура.

Температура нагрева i -го элемента обуславливается плотностью тока J_i , соответствующей расчетному длительному значению тока при ПВ = 100 %. В таблице 5 приведены рекомендуемые плотности тока в элементах вторичного контура в зависимости от материала элемента и условий его охлаждения.

Таблица 5 – Рекомендуемые плотности тока в элементах вторичного контура

Элемент вторичного контура	Материал или марка сплава	Условия охлаждения	Допустимая плотность тока J , А/мм ²	Удельное сопротивление ρ , мкОм·м, при 20 °С	Температурный коэффициент сопротивления α при $T = 20$ °С
Электроды	БрХЦр	Водяное интенсивное (внутреннее или наружное)	20...30	0,02...0,0376	0,003
	Бронза БрХ			0,021...0,0383	0,002...0,003
Электрододержатели	Бронза БрХ		30...50	0,021...0,0383	0,002...0,003
	БрНБТ		10...20	0,032...0,058	0,002...0,003
	БрКН			0,0435	
Хоботы, консоли, плиты	Медь М1	Воздушное	1,8...2,2	0,0175	0,00392
		Водяное	2,4...3		
Шины жесткие	Медь М1	Воздушное	1,8...2	0,0175	0,00392
		Водяное	2,5...4		
Шины гибкие	Лента МГМ (фольга)	Воздушное	2,5...3		

Таким образом, первоначально необходимо вычертить эскиз вторичного контура с указанием расчетных геометрических размеров каждого элемента.

После получения эскизов всех элементов вторичного контура (кроме вторичной обмотки сварочного трансформатора) необходимо осуществить их рассеечение в одной из плоскостей для того, чтобы можно было указать площадь сечения элемента. Это необходимо для расчета активного сопротивления каждого элемента контура.

Формула расчета активного сопротивления одного элемента контура

$$r_{Ai} = K_{\Pi} \cdot \rho_i \frac{l_i}{q_i}, \quad (12)$$

где l_i – длина элемента (по направлению тока), м;

q_i – поперечное сечение элемента, м²;

ρ_i – удельное электросопротивление материала, мкОм·м;

K_{Π} – коэффициент поверхностного эффекта.

После расчета активного сопротивления каждого элемента контура (кроме вторичной обмотки сварочного трансформатора) необходимо уточнить эти значения, т. к. при протекании тока через элементы возникает поверхностный эффект, увеличивающий их активные сопротивления. Соответственно, необходимо рассчитать коэффициенты поверхностного эффекта K_{Π} для каждого элемента контура. Чтобы это сделать, необходимо разбить элементы контура на массивные и немассивные. Как правило, к немассивным элементам контура относят электроды и электрододержатели, к массивным элементам – хоботы, шины, электродные плиты, П- и Г-образные консоли.

Для расчета коэффициентов K_{Π} немассивных элементов рассчитывается активное сопротивление постоянному току одного метра проводника $r_{0(1M)}$, мкОм, из такого же материала, как и элемент контура, и такого же сечения, для массивных элементов – активное сопротивление постоянному току ста метров проводника $r_{0(100M)}$ (мкОм) из такого же материала и такого же сечения:

$$r_{0i(1M)} = \rho_i \cdot 1/q_i; \quad (13)$$

$$r_{0i(100M)} = \rho_i 100/q_i. \quad (14)$$

Коэффициент поверхностного эффекта для массивных элементов контура рассчитывается в зависимости от параметра $\sqrt{f/r_{0(100M)}}$ по одной из формул:

$$K_{\Pi} = 1 + 0,00327 \sqrt{f/r_{0(100M)}} \text{ при } \sqrt{f/r_{0(100M)}} < 180; \quad (15)$$

$$K_{\Pi} = 0,25 + 0,0056 \sqrt{f/r_{0(100M)}} + \frac{8,37}{\sqrt{f/r_{0(100M)}}} \text{ при } 180 < \sqrt{f/r_{0(100M)}} < 220; \quad (16)$$

$$K_{\Pi} = 0,277 + 0,0056 \sqrt{f/r_{0(100M)}} \text{ при } 220 < \sqrt{f/r_{0(100M)}} < 1800, \quad (17)$$

где f – частота переменного сетевого напряжения), $f = 50$ Гц.

Для гибких шин с непропаянными концами и при одностороннем подводе тока $K_{\Pi} = 1,5 \dots 1,8$. Для шин с монолитными (сваренными или спаянными) концами при двустороннем подводе тока $K_{\Pi} = 1,1 \dots 1,3$.

Коэффициент K_{Π} для немассивных элементов определяется в зависимости от критерия подобия P по графикам (рисунок 10, а, б):

$$P = 5 \cdot \sqrt{f / (r_{0(1M)} \cdot 10^7)}. \quad (18)$$

Коэффициент K_{Π} для немассивных элементов прямоугольного сечения определяется в зависимости от критерия подобия P , а также коэффициента формы K_{Φ} , представленного на рисунке 10, а, б:

$$K_{\Phi} = b/a, \quad (19)$$

где a – меньшая сторона элемента прямоугольного сечения, мм;
 b – большая сторона элемента прямоугольного сечения, мм.

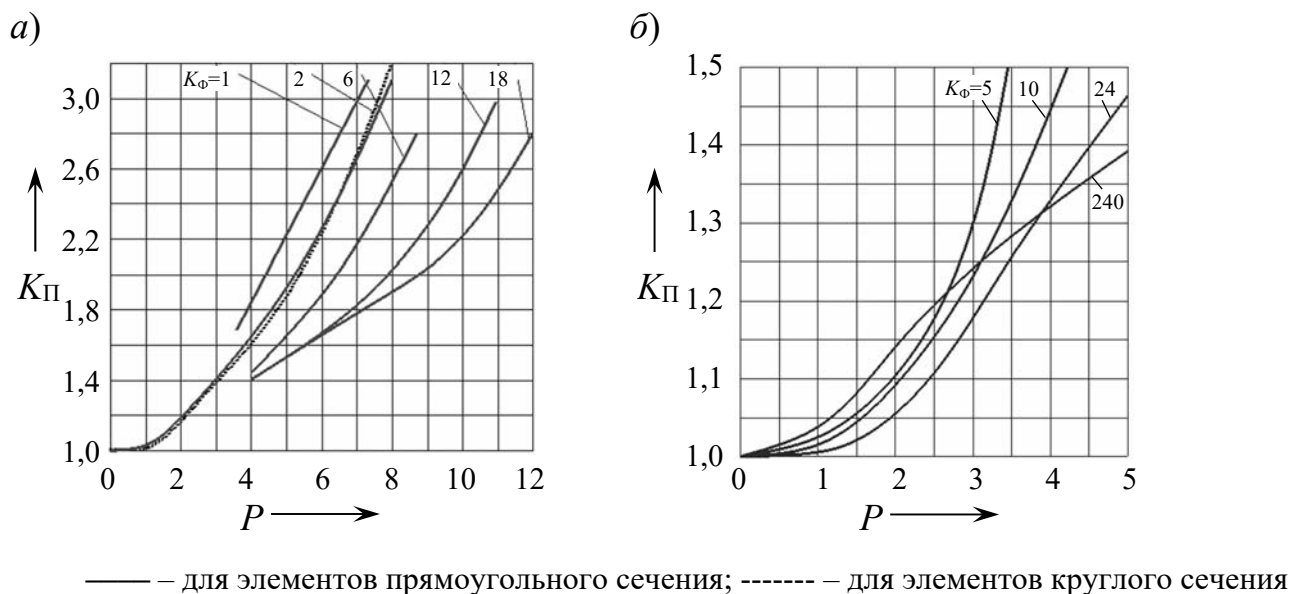


Рисунок 10 – Выбор коэффициента поверхностного эффекта

Далее необходимо найти суммарное активное сопротивление всех элементов вторичного контура для комнатной температуры 20°C :

$$r_A = \sum r_{Ai}. \quad (20)$$

С учетом того, что рабочая температура элементов вторичного контура t приблизительно равна 80°C , а температура охлаждающей среды $t_{\text{охл}} = 20^{\circ}\text{C}$,

$$r_{Ai} = r_A [1 + \alpha(t - t_{\text{охл}})], \quad (21)$$

где α – температурный коэффициент сопротивления.

Элементы вторичного контура соединяются между собой неподвижными и подвижными контактами, сопротивление которых составляет значительную часть активного сопротивления контура. Сопротивление одного неподвижного контакта «медь – медь» принимается $1 \dots 2$ мкОм, подвижного контакта «медь – медь» – $4 \dots 6$ мкОм. Сопротивление скользящего контакта (например, вращающийся ролик на машине шовной сварки) принимается $10 \dots 20$ мкОм.

Учитывая вышесказанное, необходимо подсчитать, сколько в данном контуре подвижных и сколько неподвижных контактов, а затем найти величину их общего активного сопротивления r_K , мкОм, по указанным пределам.

Активное сопротивление всех элементов вторичного контура с учетом переходных контактов составит

$$r_{BK} = r_{Ai} + r_K. \quad (22)$$

Приведенные активное r_T и индуктивное x_T сопротивления вторичной обмотки сварочного трансформатора принимаются согласно таблице «Трансформаторы контактных электросварочных машин» [10, приложение 4].

Для расчета индуктивных сопротивлений вторичных контуров однофазных контактных машин частотой 50 Гц применяется метод расчета по площади. Для этого используется следующая эмпирическая формула:

$$x_{BK} = S_{BK}^{0,73} \cdot 10^{-6} = (l \cdot h)^{0,73} \cdot 10^{-6}, \quad (23)$$

где S_{BK} – площадь, охватываемая контуром, см²;

l – номинальный вылет электродов машины для контактной сварки, см;

h – номинальный раствор контактной машины, см (см. рисунок 7).

Полное сопротивление сварочного контура машины при коротком замыкании

$$Z_{M.K.3} = \sqrt{(r_{BK} + r_T)^2 + (x_{BK} + x_T)^2}. \quad (24)$$

Максимальное значение сварочного тока при коротком замыкании

$$I_{2\text{ MAX}} = U_{2\text{ НОМ}} / Z_{M.K.3}. \quad (25)$$

Полное сопротивление сварочного контура машины, включающее сопротивление свариваемых деталей,

$$Z_M = \sqrt{(r_{BK} + r_T + r_{ЭЭ})^2 + (x_{BK} + x_T)^2}, \quad (26)$$

где $r_{ЭЭ}$ – сопротивление участка «электрод – электрод» (см. таблицы 2 и 3).

Номинальное значение вторичного напряжения холостого хода сварочного трансформатора определяется для номинального сварочного тока $I_{CB.НОМ}$, найденного по формуле (10), из соотношения

$$U_{20\text{ НОМ}} = I_{CB.НОМ} \cdot Z_M. \quad (27)$$

5.4.5 Построение внешней характеристики машины.

Исходные данные для расчета внешней характеристики машины [5, 8]:

- вторичное напряжение холостого хода $U_{20\text{ НОМ}}$, В;
- суммарное активное сопротивление элементов вторичного контура машины и их контактных соединений r_{BK} , Ом;
- индуктивное сопротивление вторичного контура x_{BK} , Ом;
- активное и индуктивное сопротивления обмоток сварочного трансформатора, приведенные ко вторичной цепи r_T и x_T , Ом;
- активное сопротивление участка «электрод – электрод $r_{ЭЭ}$, Ом.

Формула для построения внешней характеристики машины

$$U_2 = \sqrt{U_{20}^2 - [(x_{\text{БК}} + x_{\text{Т}}) \cdot I_2]^2} - (r_{\text{БК}} + r_{\text{Т}} + r_{\text{ЭЭ}}) \cdot I_2. \quad (28)$$

Пример расчета и построения внешней характеристики контактной машины в среде Microsoft Excel представлен на рисунке 11.

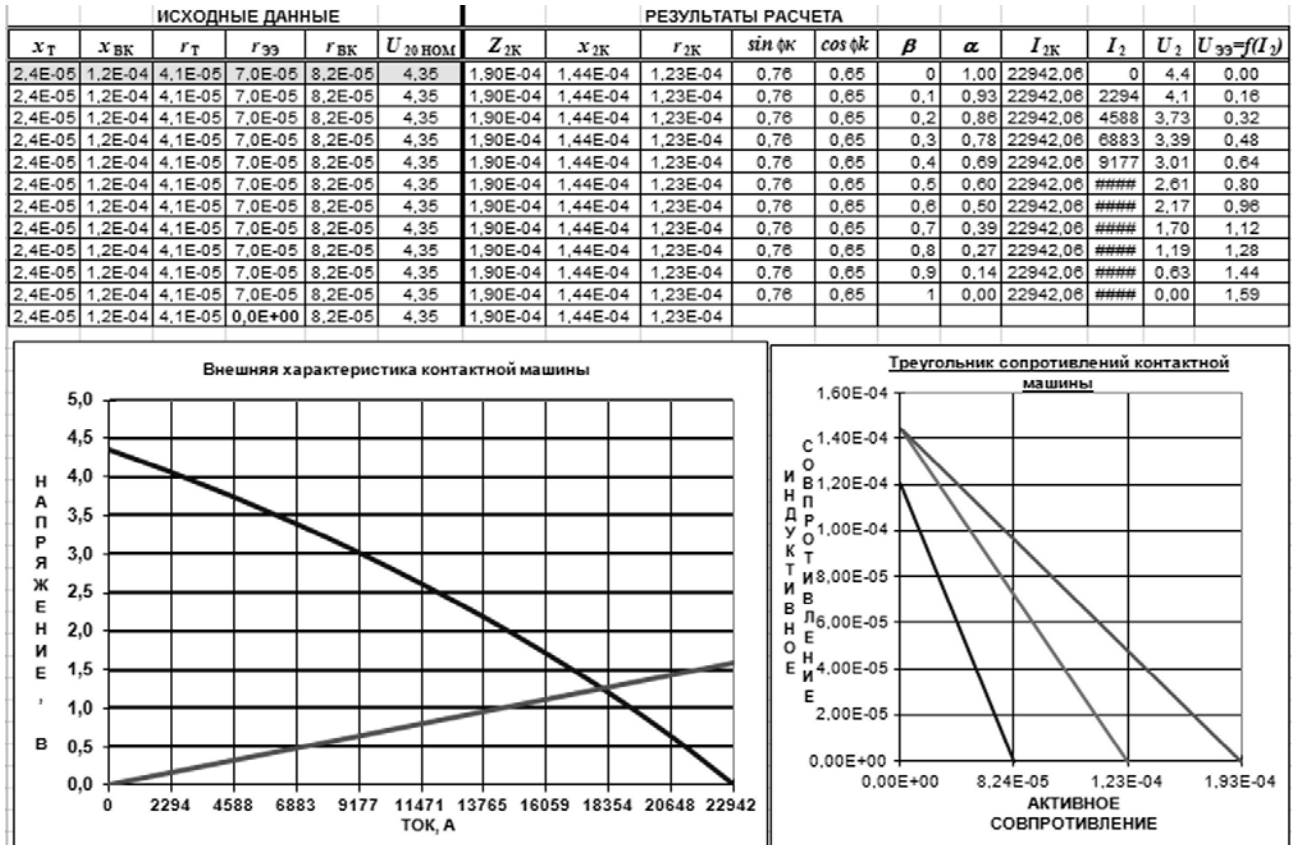


Рисунок 11 – Расчет внешней характеристики контактной машины

5.5 Конструирование электродных узлов или приспособлений для сборки и сварки рассматриваемого изделия

По согласованию с руководителем курсовой работы студент может сам выбрать или сконструировать электродный узел, а также простое приспособление для сборки и сварки конкретного малогабаритного узла. При этом в приложениях к курсовой работе должны иметься соответствующие чертежи, а в тексте работы должен присутствовать пункт под названием «Техико-экономическое обоснование выбора (конструирования) электродного узла (приспособления)» [2, 3, 5].

5.6 Расчет норм штучного времени на контактную сварку изделий

Штучное время на выполнение сварочной операции для одного изделия

$$\tau_{\text{шт}} = \tau_{\text{осн}} + \tau_{\text{п.з}} + \tau_{\text{всп}} + \tau_{\text{обс}}, \quad (29)$$

где $\tau_{\text{осн}}$ – основное время выполнения сварочной операции, с;

$\tau_{\text{п.з}}$ – подготовительно-заключительное время, с;

$\tau_{\text{всп}}$ – вспомогательное время, с;

$\tau_{\text{обс}}$ – время на обслуживание рабочего места, с.

Основное время выполнения сварочной операции $\tau_{\text{осн}}$, с, определяется по циклограмме сварки (см. рисунок 2).

$$\tau_{\text{осн}} = (\tau_{\text{сж}} + \tau_{\text{св}} + \tau_{\text{ков}} + \tau_{\text{п}}) \cdot n_{\text{т}}, \quad (30)$$

где $n_{\text{т}}$ – количество сварных точек на одно изделие.

Подготовительно-заключительное время $\tau_{\text{п.з}}$ включает в себя такие операции, как получение производственного задания, инструктаж, получение и сдача инструмента, осмотр и подготовка оборудования к работе и т. п. Принимаем $\tau_{\text{п.з}}$ равным 20 % от $\tau_{\text{осн}}$.

Время, отведённое на выполнение вспомогательных операций, $\tau_{\text{всп}}$ включает в себя время на смену электрода, на осмотр и очистку свариваемых кромок, на очистку швов от выплесков металла и нагара, на клеймение шва и на манипуляции с изделием. При контактной точечной сварке $\tau_{\text{всп}}$ составляет 70 %...80 % от $\tau_{\text{осн}}$.

Время на обслуживание рабочего места $\tau_{\text{обс}}$ включает в себя время на установку режима сварки, наладку регулятора цикла сварки, уборку абразивного инструмента и т. д. Для контактной точечной сварки принимаем $\tau_{\text{обс}} = 0,15\tau_{\text{осн}}$.

Общее время работы рассчитывается исходя из того, что рабочая смена составляет 8 часов, при этом в конце каждого часа делается 10-минутный перерыв. Время перерывов на отдых и личные надобности в течение смены составит $\tau_{\text{пер}} = 8 \cdot 10 = 80$ мин. Время работы за смену с учетом 10-минутных перерывов составит $\tau_{\text{раб}} = 8 \cdot 50 = 400$ мин = 24000 с. Таким образом, общее количество изделий $N_{\text{изд}}$, шт., которые можно сварить за смену,

$$N_{\text{изд}} = \tau_{\text{раб}} / \tau_{\text{шт}}. \quad (31)$$

5.7 Выбор способа контроля качества соединений

Контроль сварных соединений заключается в качественной или количественной оценке основных признаков, характеризующих их работоспособность. Контроль осуществляют с разрушением и без разрушения соединений.

Контроль с разрушением проводят путем испытания технологических

образцов-свидетелей и выборочных испытаний сварных конструкций. Этот способ контроля дает лишь консультативную информацию, т. к. качество неразрушенных соединений в изделиях остается неизвестным. В то же время простота и наглядность результатов послужили причиной широкого применения контроля с разрушением в промышленности.

Неразрушающий контроль – наиболее перспективный при дефектоскопии сварных соединений. При контроле без разрушения применяют в первую очередь следующие методы физического контроля: радиационный, электромагнитный и ультразвуковой. К неразрушающим методам следует отнести также визуально-измерительный контроль (внешним осмотром), контроль на герметичность и сопротивление соединений заданным нагрузкам.

Контроль параметров режима в процессе сварки решается путем создания специальной аппаратуры периодического и непрерывного измерения, а также автоматической стабилизации основных параметров режима сварки. Сложность организации этого контроля объясняется кратковременностью процесса сварки, большой производительностью работы оборудования, импульсным характером электрических параметров, недоступностью наблюдения за формирующейся зоной соединения и другими факторами [5, 6].

5.8 Разработка технологического процесса сборки, сварки и контроля изделия

Под разработкой технологического процесса следует понимать выбор наиболее рациональных способов сборки изделия, определение последовательности операций, связанных с его изготовлением, выбор (или проектирование) наиболее рационального типа оборудования и приспособлений.

Студент заполняет карту технологического процесса, форму которой получает у руководителя курсовой работы. Готовая карта техпроцесса прикладывается в приложениях к работе.

5.9 Планировка участка сборки и сварки рассматриваемого узла

Планировка рабочего места заключается в нанесении на плане производственного здания мест расположения оборудования и рабочих. В пояснительной записке приводится и дается описание планировки участка, РТК или рабочего места.

6 Охрана труда на рабочем месте

В данном разделе студенту необходимо в соответствии с выбранным способом сварки и оборудованием изложить требования к охране труда на рабочем месте сварщика и меры безопасности по работе со сварочным оборудованием. Привести основные поражающие факторы, угрожающие жизни и здоровью рабочих [5, 7].

Список литературы

- 1 **Березиенко, В. П.** Технология сварки давлением / В. П. Березиенко, С. Ф. Мельников, С. М. Фурманов. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 256 с.
- 2 **Гиллевич, В. А.** Технология и оборудование рельефной сварки / В. А. Гиллевич. – Л. : Машиностроение, 1976. – 151 с.
- 3 **Липа, М.** Контактная рельефная сварка / М. Липа, Я. Голасек. – Киев : Техника, 1971. – 324 с.
- 4 **Чулошников, П. Л.** Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов / П. Л. Чулошников. – М. : Машиностроение, 1974. – 232 с.
- 5 **Орлов, Б. Д.** Технология и оборудование контактной сварки : учебник / Б. Д. Орлов, А. А. Чакалев, Ю. В. Дмитриев; под ред. Б. Д. Орлова. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с. : ил.
- 6 **Катаев, Р. Ф.** Технология конструкционных материалов: теория и технология контактной сварки : учебник / Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник ; под науч. ред. М. П. Шалимова. – М. : Юрайт, 2025. – 146 с.
- 7 **Смирнов, В. В.** Оборудование для контактной сварки: справ. пособие / В. В. Смирнов. – СПб. : Энергоатомиздат, С.-Петерб. отд-ние, 2000. – 736 с.
- 8 **Катаев, Р. Ф.** Оборудование контактной сварки: учеб. пособие / Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник. – Екатеринбург : Урал. ун-т, 2014. – 144 с.
- 9 **Слиозберг, С. К.** Electrodes для контактной сварки / С. К. Слиозберг, П. Л. Чулошников. – Л. : Машиностроение, 1972. – 96 с.
- 10 **Рыськова, З. А.** Трансформаторы для электрической контактной сварки / З. А. Рыськова, П. Д. Федоров, В. И. Жемерева. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 423 с.