МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. В. Савинов

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Учебно-методическое пособие

Волгоград
2016

УДК 621.791.76 (075)

Рецензенты

ООО «Политех»,
директор канд. техн. наук *А. П. Пеев*
ООО «Специальные сварные металлоконструкции»,
ведущий специалист канд. техн. наук *В. И. Атаманюк*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Савинов, А. В.

Технология электроконтактной сварки: учебно-методическое пособие / А. В. Савинов ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – 62 с.

ISBN 978-5-9948-2306-4

Описаны основные электрофизические процессы, протекающие при электроконтактной сварке, показаны условия получения сварного соединения при точечной и шовной сварке. Приведены сведения об основных способах электроконтактной сварки, о типах соединений, выполняемых контактной сваркой, о дефектах, возникающей при сварке и мерах по их предупреждению. Приведены рекомендации по выбору и расчету параметров режима, техники и технологии контактной сварки, содержание лабораторных работ, практических занятий и семестровых работ.

Для студентов бакалаврской подготовки по направлению 15.03.01 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного производства».

Ил. 10. Табл. 12. Библиогр.: 9 назв.

ISBN 978-5-9948-2306-4

© Волгоградский государственный технический университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Контактная сварка – это процесс образования неразъемных соединений конструкционных материалов в результате их кратковременного нагрева электрическим током и пластического деформирования усилием сжатия.

Как способ получения неразъемных соединений контактная сварка известна с конца прошлого века. У ее истоков стояли три выдающиеся личности:

– русский инженер-изобретатель Н. Н. Бенардос (1842–1905 гг.) – автор точечной и шовной сварки. В 1887 г. он запатентовал точечную сварку. Он же в 1882 г. изобрел дуговую сварку;

– английский физик Уильям Томсон – граф Кельвин (1824–1907 гг.) – основоположник термодинамики, автор понятия абсолютной температуры и шкалы Кельвина, автор эффекта Томсона, инициатор и руководитель грандиозной эпопеи по прокладке телеграфного кабеля между Англией и США по дну Атлантики – предложил стыковую контактную сварку в 1856 году;

– американский изобретатель Элиху Томсон (1853–1937 гг.) – кроме 692 изобретений разработал способ и оборудование для стыковой сварки оплавлением в 1877 году, он же – автор электросчетчика, заземления, электропечи, холодильника.

Широкое использование контактной сварки в нашей стране началось в 30-х годах после создания индустриальной базы. В 1936 г. на заводе «Электрик» освоили промышленный выпуск контактных машин.

В течение 1952–1968 гг. контактные машины оснастили логикой в схемах управления, тиристорами в силовых блоках. Для контактной сварки стали использоваться ЭВМ, манипуляторы, роботы.

В настоящее время контактная сварка – один из ведущих способов получения неразъемных соединений деталей в различных отраслях техни-

ки. Она отличается очень высокой степенью механизации, роботизации, автоматизации и, как следствие, высокой производительностью. Благодаря совершенствованию технологического процесса и модернизации оборудования, области ее использования непрерывно расширяются. Сейчас по объему выпуска сварных изделий контактная сварка составляет 90 % среди всех способов сварки давлением и 50 % в общем объеме всех способов сварки.

1. ВИДЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Известные способы контактной сварки классифицируют по ряду признаков:

1) по технологическому способу получения соединений – точечная, рельефная, шовная, стыковая;

2) по конструкции соединения – нахлесточная или стыковая;

3) по состоянию металла в зоне сварки – с расплавлением металла или без расплавления;

4) по способу подвода тока – одно- и двухсторонняя;

5) по роду сварочного тока и форме импульса – переменный промышленной, повышенной и пониженной частоты, постоянный, униполярный – ток одной полярности с переменной силой в течение импульса;

6) по числу одновременно выполняемых соединений – одноточечная, многоточечная, сварка одним или несколькими швами;

7) по наличию дополнительных связующих компонентов (клея, грунта, припоя и др.);

8) по характеру перемещения роликов при шовной сварке – непрерывная (с постоянным перемещением роликов) или шаговая (с остановкой роликов во время сварки).

Точечная сварка – способ контактной сварки, при котором детали свариваются по отдельным ограниченным участкам касания (точкам). При точечной сварке (рис. 1, *а, б*) детали *1* собирают внахлестку, сжимают усилием *F* электродами *2*, через которые проходит электрический ток $I_{св}$.

Нагрев при точечной сварке проводят импульсами переменного тока промышленной частоты 50 Гц (реже повышенной частоты 1000 Гц), а также импульсами постоянного или униполярного тока.

По способу подвода тока к свариваемым деталям различают двухстороннюю и одностороннюю сварку. В первом случае электроды *2* (рис. 1, *а*) подводят к каждой из деталей *1*, а во втором – к одной из дета-

лей, например, верхней (рис. 1, *б*). Для повышения плотности тока в точках касания деталей нижнюю деталь прижимают к медной подкладке *6*, которая одновременно выполняет роль опоры.

Чаще всего за цикл сварки получают одну точку (одноточечная сварка) и реже – одновременно две и более точки (многоточечная сварка). Иногда при точечной сварке применяют комбинированные соединения (клеесварные и сварно-паяные). Клей и припой вводят под нахлестку для повышения прочности и коррозионной стойкости соединений.

Рельефная сварка – одна из разновидностей точечной сварки. При этом на поверхности одной из деталей предварительно формируют выступ – рельеф *7* (рис. 1, *в*), который ограничивает начальную площадь контакта деталей, в результате чего при сварке в этой зоне повышаются плотность тока и скорость тепловыделения. При нагреве рельеф постепенно деформируется; на определенной стадии процесса сварки формируется ядро *4*, как при обычной точечной сварке. Часто на поверхности детали выполняют несколько рельефов или один протяженный выступ замкнутой формы, например, в виде кольца. После прохождения сварочного тока получают одновременно несколько точек или непрерывный плотный шов (контурная рельефная сварка).

Шовная сварка – способ получения герметичного соединения (шва) путем образования ряда перекрывающихся точек. Подвод тока и перемещение деталей осуществляют с помощью вращающихся дисковых электродов – роликов *8* (рис. 1, *г*). Как и при точечной сварке, детали собирают внахлестку и нагревают кратковременными импульсами сварочного тока. Перекрытие точек достигается соответствующим выбором паузы между импульсами тока и скорости вращения роликов. В зависимости от того, вращаются ролики непрерывно при сварке шва или останавливаются на время прохождения сварочного тока, различают непрерывную и шаговую сварку. Шаговая сварка отличается относительно небольшой производи-

тельностью, однако при этой сварке уменьшаются скорость износа рабочей поверхности роликов и вероятность образования дефектов шва (трещин, раковин) по сравнению с непрерывной сваркой, когда прохождение сварочного тока и кристаллизация литого ядра осуществляются при вращающихся роликах.

Известны некоторые разновидности шовной сварки: односторонняя, многошовная (одновременная сварка нескольких швов на одной машине), шовно-стыковая сварка.

Стыковая сварка – способ контактной сварки, когда детали соединяются по всей площади касания (по всему сечению). Детали *1* (рис. 1, *д)* закрепляют в токоподводящих зажимах *9, 10,* один из которых, например, зажим *10,* подвижный и соединен с приводом усилия сжатия машины. Детали сжимают и пропускают через них сварочный ток, получая сварное соединение.

Область применения контактной сварки определяется ее основными достоинствами и недостатками.

Основные достоинства контактной сварки:

– активация происходит за счет расплавления, а сближение – за счет механической энергии. Это требует минимального количества энергии и присадочного металла по сравнению с другими способами сварки;

– высокая производительность контактной сварки;

– контактная сварка не требует высокой квалификации сварщика;

– расход электроэнергии на порядок меньше, чем при сварке плавлением соединения, равного по площади контактному соединению;

– низкая себестоимость процесса;

– легкость автоматизации и механизации.

К недостаткам контактной сварки следует отнести:

– необходимость в высококлассном обслуживающем персонале;

– необходимость в специализированном оборудовании, приспособленном к конкретной детали, отсутствие универсальности;

– необходимость борьбы с выплесками и мощным электромагнитным излучением;

– отсутствие надежных методов неразрушающего контроля.

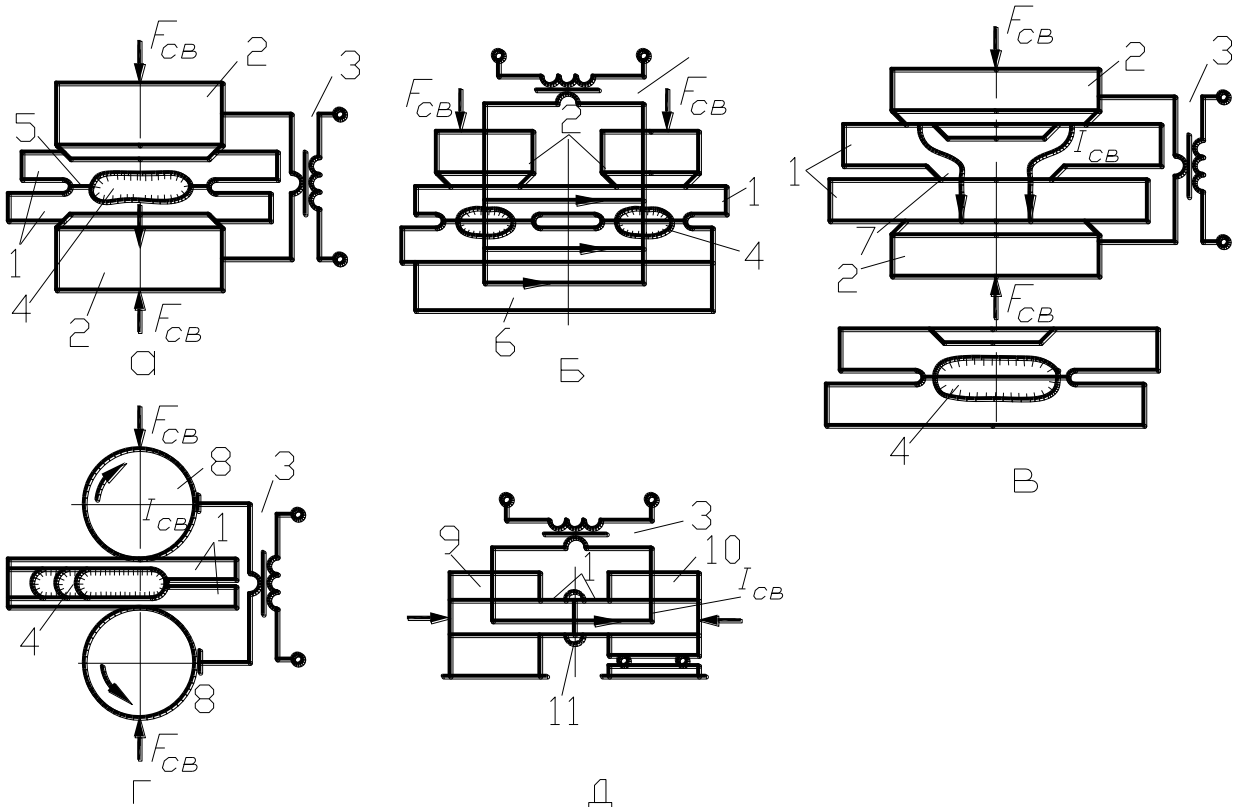


Рис. 1. Основные виды контактной сварки

Область применения контактной сварки чрезвычайно широка – от крупногабаритных строительных конструкций, космических аппаратов до миниатюрных полупроводниковых устройств и пленочных микросхем. По имеющимся данным, в настоящее время около 30 % всех сварных соединений выполняют различными способами контактной сварки. Среди механизированных и автоматизированных способов сварки контактная сварка занимает первое место.

Контактной сваркой можно успешно соединять практически все известные конструкционные материалы – низкоуглеродистые и легирован-

ные стали, жаропрочные и коррозионностойкие сплавы, сплавы на основе алюминия, магния и титана и др.

Точечная сварка – наиболее распространенный способ, на долю которого приходится около 80 % всех соединений, выполняемых контактной сваркой. Этот способ сварки широко используют в автомобиле- и вагоностроении, строительстве, радиоэлектронике и т. д. Например, в конструкциях современных лайнеров насчитывается несколько миллионов сварных точек, легковых автомобилей – до 5000 точек. Диапазон свариваемых толщин – от нескольких микрометров до 10–30 мм. Точечной сваркой соединяются элементы жесткости и крепежные детали с листами, тонкостенными оболочками и панелями.

Стыковую сварку сопротивлением используют весьма ограниченно, так как не удается обеспечить равномерный нагрев стыка и получить соединение по всей поверхности контакта из-за трудностей удаления оксидных пленок. Этот способ применяют, в основном, при соединении проволоки, стержней и труб из низкоуглеродистой стали относительно малых сечений.

Стыковую сварку оплавлением успешно используют при соединении трубопроводов, железнодорожных рельсов (бесстыковые пути) в стационарных и полевых условиях, длинномерных заготовок, ободов автомобильных колес из различных конструкционных сталей и сплавов, латуни и цветных металлов и др. Стыковая сварка оплавлением обеспечивает экономию легированной стали при производстве режущего инструмента. Например, рабочая часть сверла из инструментальной стали сваривается с хвостовой частью из обычной стали. Доля стыковой сварки, преимущественно сварки оплавлением, составляет около 10 % общего объема применения контактной сварки.

Шовная сварка по объему применения занимает третье место (около 7 %) и используется при изготовлении различных герметичных емкостей,

например, топливных баков автомобилей и летательных аппаратов, баков стиральных машин, шкафов холодильников, плоских отопительных радиаторов и т. п. Кроме того, шовная сварка обеспечивает получение прочностных швов при производстве чувствительных элементов в приборостроении. Скорость сварки швов может достигать на отдельных установках 10 м/мин, а плотность соединений обеспечивает высокую надежность работы сварных конструкций в условиях очень низкого вакуума или весьма больших давлений рабочей среды.

Рельефная сварка – наименее распространенный способ контактной сварки (объем применения около 3 %), используется для крепления кронштейнов к листовым деталям, например, скобы к капоту автомобиля, петли для навески дверей к кабине и т. д., для соединения крепежных деталей (болтов, гаек и шпилек), крепления проволоки к тонким деталям в радиоэлектронике и др. Рельефная сварка по непрерывным рельефам также дает возможность получать герметичные соединения, в частности, крышки с основанием полупроводниковых элементов или интегральных схем.

Наиболее широко контактная сварка применяется в условиях массового производства предметов бытового ширпотреба, автомобилестроении, инструментальном производстве, при прокладке магистральных трубопроводов и др. В этих областях контактная сварка составляет 70…90 % всего сварочного производства.

2. ТОЧЕЧНАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА

2.1. ШУНТИРОВАНИЕ ТОКА ПРИ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ

Шунтирование – утечка части расчётного сварочного тока параллельно основному току по ранее сваренным точкам, покрытию, приспособлению или участкам плотного касания детали вокруг свариваемой точки. Шунтирование тока проявляется в протекании части тока вне зоны сварки, например, через ранее сваренные точки (рис. 2) при двухсторонней точечной сварке или через одну из деталей при односторонней сварке. Шунтирование в значительной мере нарушает симметрию электрического поля и может при малом расстоянии или шаге между точками ($t_ш$) привести к уменьшению плотности тока и размеров литого ядра.

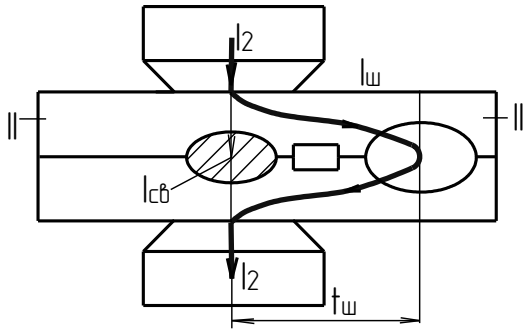


Рис. 2. Шунтирование тока при двухсторонней точечной сварке

Масштабы шунтирования практически невозможно оценить путём измерения вторичного или первичного тока при точечной сварке. Вторичный ток практически не меняется по своей величине (рис. 3). Меняется только соотношение сварочного и шунтирующихся токов. Их сумма при всех случаях сохраняется приблизительно постоянной. При этом угол сдвига фаз между вторичным током, сваривающим и шунтирующимся токами, оказывается настолько малым, что вполне справедливо суммировать токи не векторально, а арифметически, то есть считать $I_2 = I_{св} + I_ш$.

Токи шунтирования обычно снижаются в процессе сварки за счёт нагрева шунта и снижения $r_{ээ}$. Увеличение шага между точкам $t_ш$ приводит к уменьшению токов шунтирования. Для учёта влияния тока шунтирования

на параметры режима сварной точки в ряде случаев первую точку ставят на пониженном токе, а последующие сварные точки – на повышенных токах.

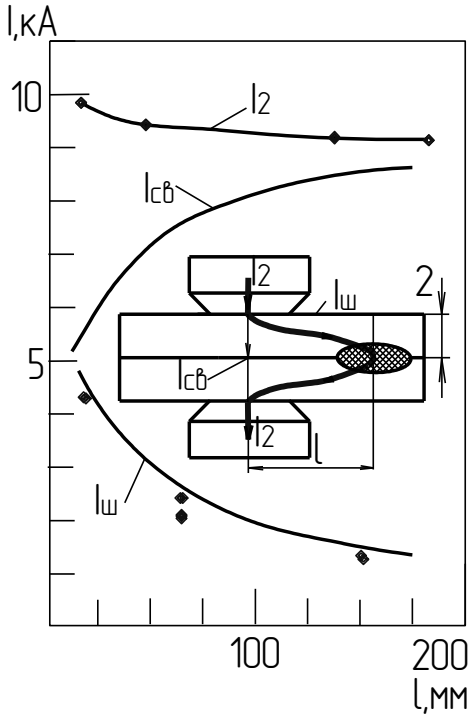


Рис. 3. Соотношение сваривающих и шунтирующих токов при двухсторонней точечной сварке

2.2. ЦИКЛОГРАММЫ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Параметрами режима точечной сварки являются:

– сварочный ток – $I_{св}$;

– длительность его протекания – t_c;

– усилие сжатия $P_{сж}$;

– диаметр рабочей поверхности электрода – $d_э$.

Ток и усилие могут задаваться по определённой программе. Режим сварки самопроизвольно меняется при колебаниях напряжения в сети, шунтировании, смятии и износе электродов, изменении состояния поверхности металла. Поэтому параметры режима стабилизируют или автомати-

чески регулируют, а диаметр контактной поверхности электродов $d_э$ восстанавливают по мере его увеличения.

Параметры режима сварки устанавливают по технологической карте, таблицам ориентировочных режимов с учётом толщины, материала и состояния поверхности деталей, имеющегося оборудования или по номограммам.

Режимы сварки уточняют испытанием соединений на срез или технологической пробой. При этом изменением одного параметра при неизменных других уточняют его оптимальную величину.

Циклограмма сварки – совмещённые программы изменения параметров $I_{св}$ и $P_{св}$ (рис. 4).

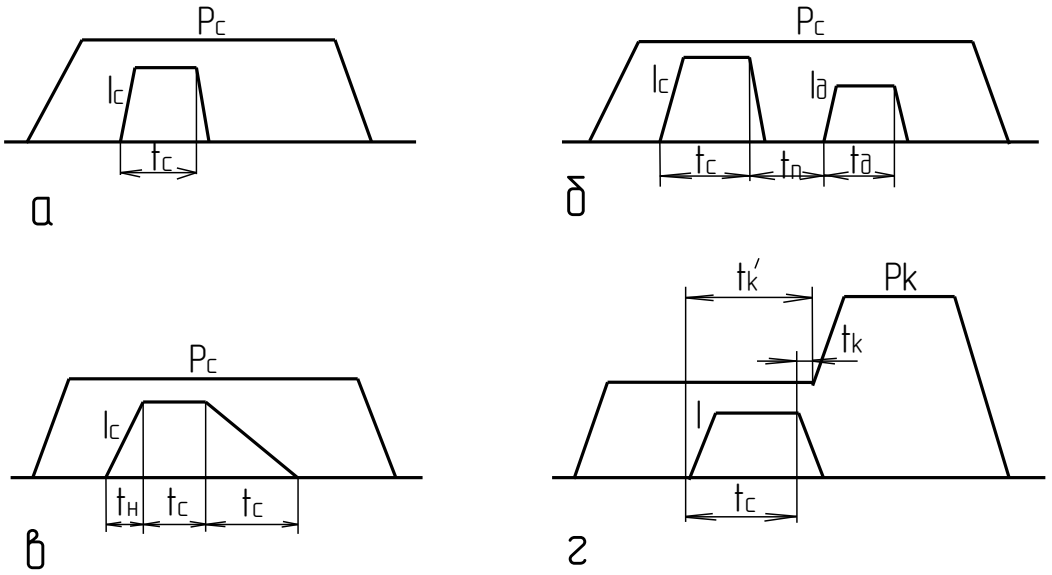


Рис. 4. Циклограммы точечной сварки:
а – с постоянным усилием и одним импульсом тока;
б – с постоянным усилием, со сварочным и дополнительным импульсом тока; *в* – с постоянным усилием и модулированным импульсом тока; *г* – с переменным усилием (проковкой)

2.3. ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Технологический процесс изготовления конструкций и узлов при помощи точечной сварки включает в себя ряд операций:

– подготовку поверхности;

– сборку;

– прихватку;

– сварку;

– антикоррозионную защиту;

– правку;

– механическую обработку.

В зависимости от специфики производства некоторые из перечисленных пунктов могут быть отменены.

Сборка должна обеспечивать точную установку свариваемых деталей в соответствии с чертежом. При невысокой точности изготовления деталей сборка резко затрудняется подгоночными операциями. При хорошей точности изготовления деталей сначала производят подготовку поверхности, а потом сборку, подгонка в процессе сборки при этом не допускается. При низкой точности изготовления деталей сначала производят предварительную сборку с подгонкой, потом узел разбирают и производят подготовку поверхностей, а потом сборку.

Подготовку поверхности деталей производят в следующей последовательности: предварительное удаление масла (протирка тканью в растворителе), окончательное обезжиривание (в ваннах с растворителями различного состава), удаление грубой окисной плёнки (огненная, дробеструйная обработка, травление, очистка щётками), пассивирование поверхности, промывка, сушка (при температуре до 75 °С в печах или тёплым воздухом), контроль состояния поверхности (визуально, измерением сопротивления $R_{ээ}$).

Количество прихваток определяется требуемой жёсткостью конструкции, в некоторых случаях при жёстком закреплении деталей в приспособлении прихватки можно не выполнять.

Правка сваренных деталей производятся путём проковки или их механического деформирования.

3. ШОВНАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА

3.1. ШУНТИРОВАНИЕ ТОКА ПРИ ШОВНОЙ СВАРКЕ

Шов в отличие от точки образуется при значительном шунтировании тока ранее сваренным участком и сильном разогреве свариваемых кромок. Шунтирование проявляется в понижении плотности тока j со стороны ранее сваренной точки, часть тока при этом проходит через ранее сваренные точки (рис. 5).

В результате этого происходит вытягивание сварных точек в сторону ранее сваренных (рис. 6, *а*, *б*).

Шунтирование взрастает с уменьшением удельного сопротивления деталей ρ, увеличением толщины свариваемых деталей δ, уменьшением расстояния между точками S_m. Положительным результатом эффекта шунтирования тока при шовной сварке является упрощение перекрытия сварных точек и образование герметичного шва, так как перекрытие сварных точек происходит за счёт шунтирования тока.

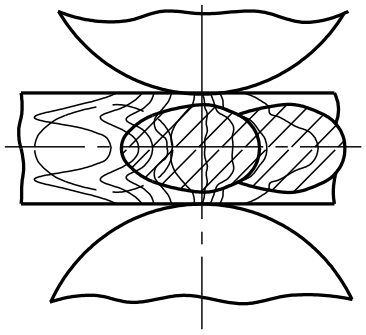


Рис. 5. Шунтирование тока при контактной шовной сварке

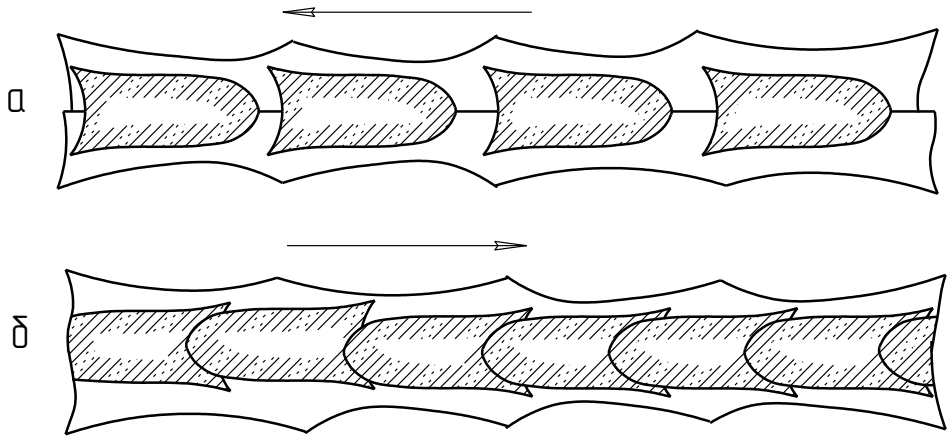


Рис. 6. Влияние шунтирования на форму
сварной точки при контактной шовной сварке

При шовной сварке низкоуглеродистых сталей ток только на 15 % выше, чем при обычной точечной сварке. Это объясняется высокой температурой ранее сваренной точки и, вследствие этого, большим значением её удельного сопротивления. При сварке лёгких сплавов ранее сваренные точки охлаждаются быстрее, вследствие чего происходит дополнительное увеличение тока шунтирования, и сварные точки становятся более вытянутыми в сторону ранее сваренных точек.

Для учёта эффекта шунтирования ток при шовной сварке увеличивают на 20…30 % по сравнению с точечной сваркой. Низкие значения тока сварки приводят к непровару, а высокие значения – к подплавлению поверхности и налипанию металла на ролики.

3.2. ЦИКЛОГРАММЫ ШОВНОЙ СВАРКИ

При непрерывной шовной сварке (рис. 7, *а*) происходит зажатие деталей роликами, вращение роликов с непрерывным пропусканием сварочного тока через свариваемые детали. При этом резко повышается скорость сварки, однако качество соединений и стойкость роликов снижается.

При непрерывной сварке отдельными импульсами (рис. 7, *б*) происходит зажатие деталей роликами, вращение роликов и периодическое пропускание через них импульсов сварочного тока. Во время паузы tп между

импульсами ролики и детали успевают частично охладиться, стойкость роликов возрастает, уменьшается ширина ЗТВ, снижаются остаточные деформации.

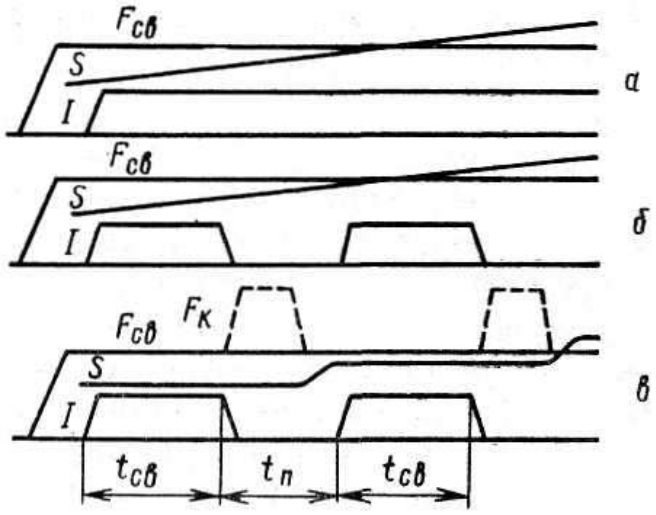


Рис. 7. Циклограммы контактной шовной сварки

При шаговом вращении роликов (рис. 7, *в*) происходит зажатие деталей между роликами и вращение роликов с периодическими остановками в момент пропускания через них импульса сварочного тока. Остановка роликов способствует сильному охлаждению деталей и рабочей поверхности роликов. Повышается стойкость роликов, устойчивость и качество точек. Кроме того, остановка роликов позволяет приложить ковочное усилие при сварке толстостенных деталей (до 4 мм) из алюминиевых и магниевых сплавов.

4. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКИ»

4.1. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ №1, 2

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ СТЫКОВЫХ КОНТАКТНЫХ МАШИН

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение устройства и взаимодействия узлов контактных машин для стыковой сварки сопротивлением и оплавлением, приобретение навыков работы со справочными материалами, описаниями и инструкциями.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. По описанию, паспорту и инструкции изучить контактную стыковую машину, предложенную преподавателем. Изучить устройство отдельных узлов машины, их назначение и взаимодействие.
2. Изучить электрическую схему машины.
3. Изучить кинематическую схему машины.
4. Изучить схему водяного охлаждения.
5. Настроить машину на заданный преподавателем режим сварки.

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Современная контактная стыковая машина представляет собой агрегат из электрических, механических, пневматических и пневмогидравлических узлов. Контактные стыковые машины выпускаются в соответствии с ГОСТ 297-77 «Машины электросварочные контактные», в котором предусмотрены параметрические ряды машин по длительным сварочным токам, номинальным усилиям сжатия и осадки, диапазон регулирования сварочного тока и другие характеристики.

Режим работы контактной стыковой машины характеризуется продолжительностью включения (ПВ), равной:

$$\text{ПВ}\% = \frac{t_{св}}{t_{св} + t_п} \cdot 100,$$

где $t_{св}$ – время протекания сварочного тока за период сварки одного стыка; $t_п$ – время паузы между включениями тока.

Для удобства и однозначности представления о машине ей присваивается буквенно-цифровое обозначение, которое содержит сведения о назначении машины и основных технических характеристик. Первая буква характеризует тип машины: установка У, машина М и т.д. Вторая буква указывает вид сварки: точечная Т, стыковая С и т.д. Иногда после первых букв ставится третья, уточняющая тип машины: К – конденсаторная, В – с выпрямителем тока в сварочном контуре.

Первые две цифры числовой части обозначения указывают номинальный ток в кА. Вторые две цифры числовой части обозначения указывают номер конструктивного исполнения данного типа машины.

Стыковые машины классифицируются:

по способам сварки:

– для стыковой сварки сопротивлением;

– для стыковой сварки непрерывным оплавлением и оплавлением с предварительным подогревом;

по назначению:

– общего применения (универсальные);

– специализированные;

по приводу механизма подачи и осадки:

– с пружинным приводом;

– с рычажным приводом;

– с электромеханическим приводом;

– с пневматическим или гидравлическим приводом;

по устройству зажима:

– эксцентриковые;

– рычажные (ручные, пружинные, пневматические);

– винтовые;

– пневматические, гидравлические и пневмогидравлические;

– с приводом зажима от электродвигателя;

по характеру действия:

– неавтоматические;

– полуавтоматические;

– автоматические.

Автоматические машины могут быть использованы только для одного способа сварки: либо сопротивлением, либо оплавлением. Для сварки сопротивлением автоматические машины выпускаются небольшой мощности, обычно 1 – 25 кВА. При сварке оплавлением с подогревом или без подогрева мощность автоматических машин достигает 600 кВА и более.

Машины неавтоматического действия выпускаются мощностью до 250 кВА и могут быть использованы как для сварки сопротивлением, так и для сварки оплавлением.

Стыковые машины в процессе работы выполняют следующие функции:

– создание условий осадки;

– подвод тока к свариваемым деталям;

– управление последовательностью операций в процессе сварки.

Стыковые машины состоят из следующих узлов: станина с направляющими, подвижная и неподвижная плиты, механизм подвода подачи и осадки, зажимное устройство и упоры, сварочный трансформатор с переключателем ступеней мощности, токоведущие части сварочной цепи (соединительные шины, контактные губки и т.д.), контактор, система управления и система водяного охлаждения.

Станина и плиты

Стыковая машина имеет станину в виде массивного стола, на котором смонтированы плиты для крепления электродов. В зависимости от назначения машины контактные плиты могут быть расположены горизонтально, наклонно и вертикально.

Одна из плит (обычно левая) устанавливается неподвижно, другая (правая) может перемещаться по направляющим. Направляющие могут быть прямоугольными, круглыми и типа ласточкина хвоста. В машинах последних выпусках применяются преимущественно круглые направляющие.

В момент осадки свариваемых деталей верхняя часть стыковой машины воспринимает большие нагрузки (до 30 … 50 т), поэтому особое значение имеет жесткость установочных плит, направляющих и основания станины.

Станина стыковой машины выполняется либо в виде сварной конструкции, либо литовзрывной, либо цельнолитой (для машины меньшей мощности).

Зажимные устройства

Зажатие деталей должно быть достаточно надежным, чтобы обеспечить необходимое контактное давление и предупредить проскальзывание деталей при осадке. При сварке коротких деталей и тонкостенных труб применяются упоры, которые позволяют снизить усилие зажатия деталей.

В машинах малой мощности для сварки сопротивлением применяются эксцентриковые зажимные устройства.

Винтовые зажимы применяются в машинах средней мощности.

Рычажные зажимы применяются в машинах различной мощности и пружинные – в машинах малой мощности, пневматические – в машинах средней мощности.

Пневмогидравлические и гидравлические механизмы зажатия используются в машинах большой мощности, а электромеханические зажимы применяют в рельсосварочных машинах.

Приводы подачи и осадки стыковых машин

Привод подачи и осадки служит для перемещения подвижной плиты вместе со свариваемой деталью и создания нужного давления в момент осадки.

В машинах малой мощности для сварки сопротивлением применяются пружинные и рычажные приводы. Рычажный привод – универсальный, позволяющий вести сварку методом сопротивления и оплавления, т.к. изменение скорости подачи и осадки зависит от сварщика – оператора.

Стыковые машины часто комплектуются электромеханическим (моторно-кулачковым) приводом. Профиль кулачка определяет характер изменения скорости движения подвижной плиты.

Мощные стыковые машины типа МСГА имеют гидравлический привод подачи и автоматическое управление при помощи золотникового устройства и электронного управления.

Трансформатор

Трансформатор является основной частью контактной машины. Он служит для преобразования высокого напряжения сети (380 или 220В) в низкое напряжение на электродах машины (0,5 … 16 В).

Трансформаторы машины небольшой мощности имеют цилиндрическую первичную обмотку.

Вторичный виток в таких трансформаторах расположен поверх первичной обмотки и состоит из полос тонкой медной фольги.

В трансформаторах большой мощности первичная обмотка состоит из дисковых катушек, прижатых к дискам вторичного витка. Охлаждение трансформаторов – водяное.

Переключатель ступеней

Переключатель ступеней мощности служит для изменения числа витков первичной обмотки трансформатора, включенных в электрическую сеть.

Переключатели ступеней выполняются различной конструкции: штепсельные, с перемычками, ножевые, контроллерные и пакетные.

Пакетные, штепсельные и переключатели с перемычками применяются в машинах малой мощности. В мощных стыковых машинах применяются в основном ножевые переключатели.

Контакторы

Включение сварочного трансформатора в электрическую сеть осуществляется специальным устройством – контактором. Контакторы бывают электромагнитные (механические), игнитронные и тиристорные. Стыковые машины средней и большой мощности комплектуются преимущественно электромагнитными контакторами.

Сварочный контур

Сварочный контур стыковой машины состоит из вторичного витка трансформатора, гибких шин, контактных плит и электродов – губок.

Токоведущие части, образующие сварочный контур, имеют болтовые или клиновые контактные соединения. Омическое сопротивление контактного соединения должно быть не более 2 … 8 мкОм. Общее омическое сопротивление сварочного контура стыковой машины должно быть не более 60 мкОм.

Система управления

Стыковая сварка может осуществляться при непрерывном включении сварочного тока (сварка сопротивлением и непрерывным оплавлением) и с прерывистым включением сварочного тока (сварка с подогревом).

Обычно стыковые машины не имеют специальных регуляторов времени. Очередность и своевременность включения сварочного тока, подача деталей по мере их оплавления, включение сварочного тока и сжатие (осадка) разогретых деталей обеспечиваются сварщиком вручную или кулачковым устройством с концевым выключателем.

Современные стыковые машины, работающие с прерывистым включением сварочного тока, снабжаются электронным регулятором цикла сварки.

Система водяного охлаждения

В стыковых машинах предусматривается водяное охлаждение вторичного витка трансформатора, контактных плит и электродов-губок.

Наиболее эффективной является параллельная система охлаждения, при которой охлаждаемый элемент выделяется в отдельную ветвь.

РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с технической характеристикой машины и ее технологическим назначением. Технические данные машины занести в протокол отчета в виде таблицы.

2. Изучить электрическую схему машины и ознакомиться с ее исполнением. Мысленно расчленить электрическую схему машины на функциональные блоки (блок управления, блок контактора, переключатель ступеней мощности, трансформатор) составить блок-схему. Блок-схему с внешними соединениями занести в протокол отчета.

3. Составить эскиз вторичного (сварочного) контура машины.

4. Изучить кинематическую схему машины и ознакомиться с ее исполнением. Кинематическую схему со спецификацией ее элементов занести в протокол отчета.

5. Составить схему водяного охлаждения машины и занести ее в протокол отчета с необходимыми пояснениями.

6. Установить заданный преподавателем режим сварки. Порядок настройки машины на заданный режим занести в протокол отчета.

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Машины для контактной стыковой сварки сопротивлением и оплавлением.

2. Паспорт машины, описание и инструкция по эксплуатации.

3. Комплект слесарного инструмента.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Краткие технические данные машины.
3. Эскиз вторичного (сварочного) контура.
4. Схему водяного охлаждения.
5. Пневматическую схему.
6. Кинематическую схему привода роликов.
7. Порядок настройки машины на заданный режим.

4.2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОЙ КОНТАКТНОЙ МАШИНЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение устройства и взаимодействия узлов контактных точечных машин и приобретение навыков работы со справочными материалами, описаниями и инструкциями.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. По описанию, паспорту и инструкции изучить контактную точечную машину, предложенную преподавателем. Изучить устройство отдельных узлов машины, их назначение и взаимодействие.

2. Изучить электрическую схему машины.

3. Изучить кинематическую схему машины.

4. Изучить схему водяного охлаждения.

5. Настроить машину на заданный преподавателем режим сварки.

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Общие положения

Точеные машины классифицируются по следующим признакам:

по назначению – для сварки двусторонней одноточечной; сварки многоточечной; сварки рельефной и сварки односторонней двухточечной;

по роду работы – неавтоматические и автоматические;

по роду установки – стационарные, подвесные, подвижные;

по движению верхнего электрода – с радиальным ходом; с вертикально-прямолинейным ходом;

по типу механизма сжатия – с педальным пружинным механизмом; кулачковым пружинным с приводом от электродвигателя; пневматическим; пневматическим пружинным; гидравлическим; грузовым рычажным; моторно-пневматическим;

по расположению трансформатора – с встроенным трансформатором; с отдельно расположенным трансформатором;

по виду импульса сварочного тока – переменного тока, низкочастотные, конденсаторные, постоянного тока и т.д.

Машины для точечной сварки в процессе работы выполняют следующие функции:

1) сжатие свариваемых деталей;
2) подвод тока к деталям;
3) обеспечение длительности и заданной последовательности операций сварочного цикла.

Машины для точечной сварки имеют следующие основные узлы: трансформатор, корпус машины, хоботы с электродами, механизм сжатия, устройства управления током, токоведущие соединения и систему охлаждения.

Станина, хоботы, электрододержатели

Выбор конструкции трансформатора в большой степени влияет на конструкцию станины машины.

Станины изготовляются: а) литыми из чугуна; б) из двух литых стенок, соединенных стальными перекладинами и верхней литой или сварной крышкой; в) с цельносварными каркасами и тонколистовой обшивкой; г) с каркасами из труб и обшивкой. В машинах средних мощностей наиболее удобными оказались для серийного производства станины из двух литых стенок. Для мощных машин серийного типа в последнее время применяются сварные станины с каркасами из труб.

В станинах точечных машин особое внимание обращается на получение достаточной прочности передней стенки, ослабляемой окном для пропускания шин от трансформатора к хоботам. Провода вторичного контура нельзя разделять ферромагнитной перемычкой, чтобы не получался вокруг контура тока магнитный контур, который заметно влияет на увели-

чение индуктивного сопротивления цепи. В машинах средних мощностей, у которых верхние хоботы располагаются над верхней крышкой хобота, окна приходится доводить до верха передней стенки, что требуется для верхнего токоподвода. В точечных машинах, начиная со 100 кВА, обычно верхние электродные части делают подвесными на уровне выводов трансформатора, вследствие чего для выхода шин достаточно оставлять окно в передней стенке, окаймленное при литом исполнении станины приливами. При давлениях верхнего электрода, начиная с тонны, рекомендуется конструировать токоподводы и электродные части таким образом, чтобы окна по возможности меньше ослабляли станины.

С расположением окон связано обычно и устройство электродов, и система движения верхнего электрода. В точечных машинах используются две системы движения верхнего электрода: радиально-качательное и вертикально-параллельное.

Для регулировки расстояния между хоботами в некоторых машинах производится вертикальная перестановка нижнего хобота.

Сварочный трансформатор с переключателем ступеней

Трансформаторы точечных машин бывают различных типов. Однако расположение их в корпусах точечных машин отличается от расположения в станинах стыковых машин. Основной причиной различной установки трансформаторов является необходимость подвода сварочного тока в точечных машинах к хоботам, укрепляемым на передней стенке.

Гибкие токоведущие соединения, которыми осуществляется подвод тока от трансформаторов к хоботам, не должны затруднять перемещение хоботов. Иногда конструкторами не учитывается величина окна вторичного контура внутри корпуса и принимается во внимание только окно между хоботами. Однако у контактных машин величина индуктивного сопротивления контура во многом зависит от размеров окна между соединениями.

Наиболее технически правильным расположение трансформатора будет в том случае, когда его вторичные выводы находятся на линии лицевой стенки корпуса машины (при этом размеры вторичного контура и окна между соединениями получаются минимальными).

Так как активное и индуктивное сопротивления точечных машин всегда больше сопротивлений стыковых машин вследствие больших вторичных контуров, сопротивление трансформаторов играет в общем балансе сопротивлений точечных машин относительно меньшую роль: 15-20% в нормальных машинах, доходя в машинах с большими вылетами до 5%.

Если одинаковые трансформаторы с одинаковым вторичным напряжением будут встроены в стыковую и точечную машину, то сварочный ток и потребляемая мощность уменьшатся обратно пропорционально отношению величин полных сопротивлений машин. При этом трансформатор, встроенный в точечную машину, будет меньше нагреваться при работе на одинаковых ступенях и при одинаковых ПВ%. Практически номинальная ступень трансформатора окажется выше у точечной машине при маркировке одинаковыми ПВ%.

Если требуется получить одинаковые вторичные токи на стыковой и точечной машине, то необходимо встраивать в точечную машину трансформатор с более высокими вторичными напряжениями, причем при работе на одинаковых сварочных токах потребляемая мощность в кВА будет выше на точечной машине, в прямой пропорции с отношением полных сопротивлений машин. Вследствие этого в точечных машинах рекомендуется применять трансформаторы броневые с дисковыми обмотками и дисковыми вторичными витками, как дающие возможность наиболее близко установить трансформатор к передней стенке корпуса и получить минимальный размер внутреннего окна вторичного контура.

Переключатели ступеней выполняются в виде перемычек, штепселей, ножей и контролеров.

В машинах средней и большой мощности применяются переключатели с ножевой контактной вилкой. Переключатели с перемычками или штепсельные применяются в машинах малой мощности.

Приводы сжатия

Привод сжатия в машинах для точечной сварки обеспечивает сдавливание деталей с заданной величиной и длительностью, а также подъем и опускание электродов.

Форма применяемых графиков усилия сжатия различна. Они могут быть с постоянным усилием, с переменным, например с проковкой, с предварительным обжатием точки, со ступенчатым и с плавным ростом $F_{св}$. Выбор того или иного графика зависит от толщины и металла деталей, требований, предъявляемых к качеству соединения.

Привод точечных машин должен осуществлять два вида перемещения электродов: рабочий и дополнительный ход. Рабочий ход происходит во время паузы между точками и позволяет беспрепятственно передвигать детали (или машину) на шаг точек. Дополнительный (увеличенный) ход служит для зачистки рабочей поверхности электродов, первоначального ввода деталей в рабочее пространство машины, перемещения деталей с высокими ребрами жесткости поперек шва и т.п. Если основной привод не имеет большого рабочего хода, то применяют дополнительный электровинтовой привод.

Для получения необходимого графика сварочного усилия можно применить тот или иной тип привода.

Педально-грузовой – наиболее простой и надежный привод, с помощью которого можно получить простейший график с постоянным усилием. Опускание, сжатие и подъем осуществляют нажатием педали через систему рычагом. Чем больше $F_{св}$, тем больше усилие на педали, сильнее утомляемость сварщика. Такой привод применяют в машинах мощностью

до 10 кВА и с усилием от нескольких десятков граммов до 100 кгс (в небольших конденсаторных машинах, монтажных столах для микросварки).

Пружинный привод также прост по конструкции и эксплуатации. Сварочное усилие прикладывается при нажатии на педаль и сжатии пружины. Большое усилие на педали и быстрая утомляемость оператора ограничивают применение педально-пружинного привода лишь небольшими машинами переменного тока мощностью до 25 кВА и усилием до 300 кгс. Как и педально-грузовой, пружинный привод обеспечивает лишь простейший график с постоянным усилием.

Пневматический привод наиболее распространен в стационарных машинах средней и большой мощности (до 1000 кВА) при усилии от 150-200 кгс до 15-20 тс. Быстродействующий, легко управляемый, он работает чаще в сочетании с синхронными прерывателями тока. Пневматический привод весьма универсален. В зависимости от конструкции пневмоцилиндра, камер, их числа, вида, пнемво- и электроаппаратуры можно создать почти любой график усилия. Работу пневмопривода обычно автоматизируют и синхронизируют с работой прерывателя (может быть автоматизирован также дополнительный ход электродов).

Гидравлический привод применяют главным образом в передвижных контактных машинах типа клещей для точечной сварки, а также в многоточечных машинах. Использование в качестве рабочей жидкости масла, воды под большим давлением (50-100 атм) позволяет резко уменьшить площадь цилиндров и массу привода. Такие давления создают различными насосами (шестеренчатыми, поршневыми, лопастными и пр.), а также пневмогидравлическими мультипликаторами.

Электромагнитный привод позволяет получить практически любой график усилия. Однако наиболее универсально сочетание электромагнитного с пневмоприводом. В этом случае можно получить не только начальное усилие $F_{св1}$, но также усилие предварительного обжатия $F_{обж}$, проковку

$F_к$. Электромагнитный привод находит применение в небольших точечных машинах, где требуется тонкая регулировка формы $F_{св}$ с плавным, но быстрым его нарастанием.

Дилатометрический привод, объединенный с пневматическим, также обеспечивает плавно возрастающий график усилия, как впрочем, и любой другой график. Принцип основан на использовании эффекта теплового расширения нагреваемого металла как средства для дополнительного сдавливания зоны сварки. Эффективность работы такого привода в сильной мере зависит от жесткости консолей и корпуса машины. В большинстве случаев жесткость силового контура серийных машин недостаточна. Наиболее удобны для этого машины с увеличенной жесткостью консолей и корпуса (например, машины для рельефной сварки), а также установки портального типа.

Система водяного охлаждения

Для предупреждения перегрева электроды, хоботы, контактор, трансформатор и т.д. охлаждаются проточной водой. Наиболее эффективной является параллельная схема охлаждения, при которой каждый охлаждаемый элемент выделяется в отдельную ветвь.

РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

По техническому паспорту, инструкции по эксплуатации изучить принцип действия точечной машины, устройство отдельных узлов, их назначение и взаимодействие.

В ходе выполнения подробно изучить:

– кинематическую схему машины;

– пневматическую схему машины;

– электрическую схему машины;

– схему управления машины;

– систему охлаждения машины.

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Точечная машина.
2. Описание и инструкция по эксплуатации машины.
3. Комплект слесарного инструмента.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Краткие технические данные машины.
3. Эскиз сварочного контура.
4. Схему водяного охлаждения.
5. Пневматическую схему.
6. Кинематическую схему.
7. Порядок настройки машины на заданный режим.

4.3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ШОВНОЙ КОНТАКТНОЙ МАШИНЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение устройства и взаимодействия узлов контактных шовных машин и приобретение навыков работы со справочными материалами, описаниями и инструкциями.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. По описанию, паспорту и инструкции изучить контактную шовную машину, предложенную преподавателем. Изучить устройство отдельных узлов машины, их назначение и взаимодействие.

2. Изучить электрическую схему машины.

3. Изучить кинематическую схему машины.

4. Изучить схему водяного охлаждения.

5. Настроить машину на заданный преподавателем режим сварки.

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Общие положения

Машина для шовной сварки состоит из электрических, механических, пневматических, гидравлических и других узлов и систем, обеспечивающих зажатие деталей, подвод тока и перемещение их в процессе сварки.

Машины комплектуются электронной пускорегулирующей аппаратурой.

Обозначение машин для шовной сварки содержит в себе сведения о назначении машины и ее основные технические характеристики.

Первая буква в обозначении характеризует тип машины: У – установка, А – автомат, м – машина, К – комплекс, П – полуавтомат. Вторая – вид сварки, две первые цифры – номинальный ток в кА, а две последние – модель машины. Иногда после первых двух букв ставится третья, уточняющая тип машины: К – конденсаторная, В – с выпрямителем тока в сварочном контуре.

Так, например, модель 1 шовной машины с номинальным током 16 кА и выпрямителем в сварочном контуре обозначается МШВ – 1601.

Шовные машины классифицируются по следующим признакам:

по назначению – общего назначения (универсальные); специализированные;

по способу преобразования энергии – с однофазным трансформатором переменного тока; с низкочастотным питанием от сети переменного тока; импульсные с использованием энергии, накопленной в электростати-

ческом поле конденсаторов или электромагнитном поле конденсаторов или электромагнитном поле трансформатора;

по характеру протекания тока и вращения электродов (роликов) – для непрерывной сварки (ток протекает и ролики вращаются непрерывно); для прерывистой сварки (ролики вращаются непрерывно, а ток включается импульсами, чередующимися с паузами); для шовно-шаговой сварки (ток включается импульсами при неподвижных роликах, ролики вращаются прерывисто);

по роду установки – стационарные, подвесные, подвижные;

по расположению роликов – для продольной сварки; для поперечной сварки; для продольной и поперечной сварки (универсальные);

по характеру привода роликов – с принудительным вращением одного ролика; с принудительным вращением обоих роликов;

по типу механизма сжатия – с педальным пружинным механизмом; кулачковым пружинным с приводом от электродвигателя; пневматическим; пневматическим пружинным; гидравлическим; грузовым рычажным; моторно-пневматическим;

по устройству и расположению электродов – машины с двумя роликами, расположенными один под другим или рядом, или в перпендикулярных плоскостях; машины, снабженные одним роликом и плоским электродом;

по способу регулирования скорости подачи – со сменными шестернями; вариаторами; с многоскоростными электродвигателями;

по движению верхних электрододержателей – с радиальным движением; с прямолинейно вертикальным движением.

Машины для шовной сварки в процессе работы выполняют следующие функции:

4) сжатие свариваемых деталей;

5) подвод тока к деталям;

6) перемещение деталей в процессе сварки;
7) обеспечение длительности и заданной последовательности операций сварочного цикла.

Шовные машины имеют следующие основные узлы и системы: станину (корпус); сварочный трансформатор с переключателями ступеней; контактор и прерыватель; механизм сжатия свариваемых деталей; механизм вращения роликов; сварочный контур; систему охлаждения.

Станина (корпус)

Все узлы и системы шовной машины размещаются внутри и снаружи станины. Станина при работе механизма сжатия воспринимает значительные нагрузки, поэтому ее элементы должны обладать достаточной прочностью и жесткостью.

Корпуса шовных машин должны иметь места для крепления привода подачи с редукторами, карданными валиками и другими частями. В некоторых конструкциях на корпусах устанавливаются прерыватели для процесса прерывистой шовной сварки.

Сварочный трансформатор с переключателем ступеней

Трансформатор предназначен для преобразования напряжения сети (380 или 220 В), к которой подключена машина, в низкое напряжение (1,5 – 24 В) на сварочных электродах.

В трансформаторах большой мощности первичная обмотка выполняется в виде дисковых катушек, плотно прижатых к дискам вторичного витка. Диски вторичного витка охлаждаются водой.

Трансформаторы шовных машин отличаются от трансформаторов точечных машин тем, что они работают при более высоких ПВ %.

По ГОСТ для шовных машин ПВ принимается равным 50%. Так как маркировка мощности машин производится по повторно-кратковременной

мощности, соответствующей задаваемому ПВ %, то маркированные мощности для одинаковых трансформаторов, встраиваемых в точечные и шовные машины, будут для шовных машин ниже. Вследствие работы при больших ПВ % трансформаторы нагреваются значительно сильнее, так как активные потери в магнитопроводе при заданном первичном напряжении зависят только от величины ПВ %. Наряду с этим у трансформаторов шовных машин обычно предусматривают более плавное регулирование вторичных напряжений, т.е. большее количество ступеней переключения с меньшей разностью.

Переключатели ступеней выполняются в виде перемычек, штепселей, ножей и контролеров.

В машинах средней и большой мощности применяются переключатели с ножевой контактной вилкой. Переключатели с перемычками или штепсельные применяются в машинах малой мощности.

Контактор

При непрерывной шовной сварке для включения сварочного трансформатора в сеть применяются механические и электромагнитные контакторы.

При прерывистой и шовно-шаговой сварке трансформатор включается на очень короткое время с большой частотой (число включений достигает нескольких сот в минуту). В этих случаях применяются игнитронные и тиристорные контакторы, обеспечивающие большую частоту включений и стабильность параметров.

Регулятор времени

В современных шовных машинах используются электронные регуляторы времени, позволяющие регулировать длительность импульса и паузы. Контактор и регулятор чаще всего объединены в одном устройстве, назы-

ваемом прерывателем, который выполнен в виде шкафа управления и устанавливается рядом с машиной.

Практически включение прерывателей в первичную цепь трансформаторов шовных машин не отражается на конструкции машин, так как прерыватели любых типов обычно включают независимо от машины последовательно в питающую цепь тока. В этих случаях необходимо предусмотреть, чтобы провода питания катушек главных контакторов и другой аппаратуры управления машин включались в питающие цепи до мест разрыва их прерывателем.

Вторичный (сварочный) контур

Сварочный контур включает в себя вторичный виток трансформатора, токоведущие элементы (хоботы, угольники, гибкие шины и т.д.), электрододержатели, электроды и свариваемые детали.

Особенностью сварочного контура шовных машин является наличие подвижных контактов между вращающимися элементами, увеличивающих общее сопротивление сварочного контура, которое не должно превышать 100 мкОм.

Наиболее распространенным при поперечном расположении роликов является подвод тока к ним через трущиеся контакты, которыми служат подшипники скольжения. Для уменьшения трения и износа втулку подшипника и ось изготовляют из различных медных сплавов.

Более твердый материал берется для той детали, замена которой более сложна или более дорога. При этом применяют: катаную или кованую медь в паре с латунью или лучше оловянистой бронзой; медь и киритовые вкладыши во втулках подшипников; медь и хромоцинковую бронзу.

Хоботы шовных машин значительно отличаются по конструкции от хоботов точечных машин. Особо существенное значение имеет их охлаж-

дение, которое должно быть значительно интенсивнее, чем при точечной сварке вследствие большего ПВ %.

Наиболее ответственными частями вторичного контура шовных машин являются ролики и подвижные контакты. Последние быстро изнашиваются под действием механических нагрузок при одновременном нагреве сварочным током. Ролики и особенно подшипники необходимо охлаждать. Зачистка роликов неизбежна иногда по несколько раз в час и зависит главным образом от качества и чистоты поверхности свариваемого материала.

Конструкция роликов должна быть такова, чтобы смена была легкой, без отсоединения шлангов с охлаждающей водой.

Механизм сжатия

Шовные машины мощностью до 25 квА обычно имеют рычажно-пружинный привод механизма сжатия. Машины мощностью более 25 квА имеют пневматический привод механизма сжатия.

Механизм сжатия шовных машин по принципам действия не отличается от механизмов для точечных машин. Различие заключается лишь в том, что время поддерживания давления у шовных машин не может задаваться каким-либо автоматическим устройством и должно после начала каждой сварочной операции (шва) сохраняться постоянным (сколько угодно длительное время) до получения импульса выключения со стороны сварщика. Блокировка включения и выключения тока с опускаемым и подъемом электродов такая же, как и для точечных машин.

Механизм вращения роликов

Привод роликов шовных машин осуществляется от асинхронного двигателя через редуктор и карданный вал.

Механизм привода подачи должен быть укреплен непосредственно на корпусе или встроен в корпус машины. При этом необходимо преду-

сматривать регулятор скоростей вращения роликов. Регулирование скорости сварки осуществляется с помощью сменных шестерен или вариаторов. Пределы регулирования скоростей должны соответствовать толщине материалов, которые будут сваривать на данной машине.

Система водяного охлаждения

Для предупреждения перегрева ролики, хоботы, контактор, трансформатор и т.д. охлаждаются проточной водой. Наиболее эффективной является параллельная схема охлаждения, при которой каждый охлаждаемый элемент выделяется в отдельную ветвь.

РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

По техническому паспорту, инструкции по эксплуатации изучить принцип действия шовной машины, устройство отдельных узлов, их назначение и взаимодействие.

В ходе выполнения подробно изучить:

– кинематическую схему привода роликов;

– пневматическую схему машины;

– электрическую схему машины;

– органы управления прерывателя;

– систему охлаждения машины.

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1) Шовная машина.
2) Описание и инструкция по эксплуатации машины.
3) Комплект слесарного инструмента.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист.

2. Краткие технические данные машины.

3. Эскиз сварочного контура.

4. Схему водяного охлаждения.

5. Пневматическую схему.

6. Кинематическую схему привода роликов.

7. Порядок настройки машины на заданный режим.

4.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Рассчитать режимы стыковой, точечной или шовной сварки по заданию преподавателя.

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Режимы контактной электросварки определяют расчётно-экспериментальным методом. Расчётные формулы содержат коэффициенты и числовые данные, полученные в результате обобщения опыта.

При выполнении практических расчётов студенты непроизводительно затрачивают учебное время на поиск значений упомянутых величин в технической литературе, отвлекаясь от физической сущности изучаемого процесса. В настоящих указаниях изложение методики расчёта режимов сопровождается размещением в соответствующих местах таблиц с необходимыми числовыми данными, проверенными практикой.

За основу принята методика расчёта режимов стыковой сварки сопротивлением, содержащая много общих моментов с методиками определения режимов других разновидностей контактной сварки.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СВАРОЧНОГО ТОКА ПРИ ИСХОДНОМ СПОСОБЕ СТЫКОВОЙ СВАРКИ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Для расчета сварочного тока составлен баланс теплоты для участка свариваемых деталей, расположенных симметрично поверхности их сопряжения и составляющих часть расстояния между электродами (рис. 8).

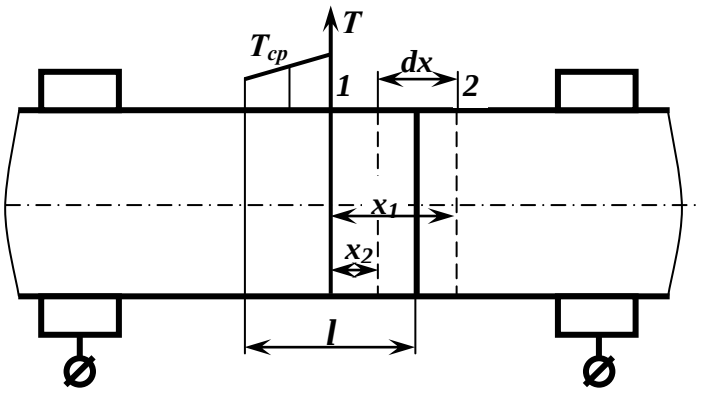


Рис. 8. Схема к расчету режимов стыковой сварки сопротивлением

Баланс теплоты для рассматриваемого участка выражается формулой

$$q_l = q_m + q_м + q_{вз}, \quad (1)$$

где q_l – количество тепла, выделенное на участке l, *Дж*; q_m – теплосодержание участка l к моменту выключения тока, *Дж*; $q_м$ – количество теплоты, уходящей из участка l в соседние холодные слои металла, *Дж*; $q_{вз}$ – количество тепла, уходящее из участка l в окружающий воздух, *Дж*.

Для сварки сопротивлением:

$$q_в = I_{св} \times U_l \times t,$$

где U_l – падение напряжения на участке l, *В*.

При сварке оплавлением: $q_в = I_{св}^2 \times R \times t$.

Теплосодержание участка l к концу нагрева:

$$q_m = G \times c \times T_{ср} = F \times l \times \gamma \times c \times T_{ср}, \quad (2)$$

где G – вес участка l, *г*; c – теплоемкость металла, *Дж*/*г*×°*C*; $T_{ср}$ – средняя температура нагрева участка l к концу стадии; F – сечение стержня, $см^2$; l – длина участка, *см*; γ – плотность свариваемого металла, $г/см^3$.

Количество теплоты, уходящей из участка l в соседние холодные

слои металла:

$$q_m = 2\lambda \times F \times \Delta T_{ср} \times t, \tag{3}$$

где λ – средний коэффициент теплопроводности для интервала температуры $0 \div T_{пл}$, *Дж*/*см*×°*C*×*c*; $\Delta T_{ср}$ – средний перепад температур на единицу длины деталей вдоль их оси на границе участка *l*, °*C*/*см*; *t* – время отвода теплоты, *c*.

Цифра *2* учитывает, что тепло отводится с обеих сторон участка *l*, через два сечения *F*.

Количество теплоты, которое отводится из участка *l* в окружающий воздух:

$$q_{вз} = H \times S \times \Delta\theta_{ср} \times t, \tag{4}$$

где *H* – коэффициент теплопередачи, *Дж*/*см*^{2}×°*C*×*c*; *S* – площадь поверхности участка *l*, соприкасающаяся с воздухом, *см*^{2}; $\Delta\theta_{ср}$ – средний перепад температур между поверхностью *S* и окружающим воздухом, °*C*.

Подставив в указанный баланс теплоты для участка *l* значения членов, получим выражение для определения тока:

$$I = \frac{F \times l \times \gamma \times c \times T_{ср} + 2\lambda \times F \times \Delta T_{ср} \times t + H \times S \times \Delta\theta_{ср} \times t}{U_l \times t}. \tag{5}$$

В связи с тем, что длительность действия тока при стыковой сварке сопротивлением исчисляется секундами или их долями, значения *H* и *S* относительно невелики, $q_{вз}$ в большинстве случаев стыковой сварки сопротивлением не превышает $(1 \div 2)\%$ от $(q_m + q_м)$. Так как расчеты носят приблизительный характер, то для подавляющего большинства случаев значения $q_{вз} \approx 0$.

Тогда получаем:

$$I = \frac{F \times l \times \gamma \times c \times T_{ср} + 2\lambda \times F \times \Delta T_{ср} \times t}{U_l \times t}. \tag{6}$$

Числовые значения членов уравнения определяются следующим образом:

– сечение свариваемых частей F выявляется из конструкции;

– числовое значение l выбирается, исходя из диаметра или толщины свариваемых частей детали; при диаметре или толщине частей больших или равных 1 *см*, l принимается равным 1 *см*; при d и $\delta < 1$ *см* – l в см принимается равным диаметру d или толщине δ детали;

– γ, λ, c – определяются по справочным данным; при этом значение c принимается для температур на $200 \div 300°C$ ниже $T_{пл}$;

– величина λ принимается равной среднему значению коэффициента теплопроводности для интервала $(0 \div T_{пл})$;

– время действия тока t принимается равным:

$$t = k_в \times d, \tag{7}$$

где d – диаметр или толщина деталей, *мм*; $K_в$ – коэффициент пропорциональности, зависит от диаметра; при $d \leq 3$ *мм*; $K_в$=0,003 ÷ 0,005 *с*/*мм*; d= 4 ... 8 *мм*; $K_в$ =0,01 ... 0,04 *с*/*мм*; d= 12 ... 16 *мм*; $K_в$ =0,08 ... 0,12 *с*/*мм*.

При выборе значений $K_в$ для конкретного случая сварки необходимо учитывать:

1) желанную степень «жесткости» режима сварки, исходя из ряда свойств металлов: чем жестче режим сварки, тем меньше $K_в$ из пределов;

2) требуемую производительность машины: чем больше она, тем меньше $K_в$;

3) мощность имеющейся машины, или резервы мощности электрической сети: чем они больше, тем меньше $K_в$;

4) расходы на сварку: чем $K_в$ меньше, тем они меньше.

Числовое значение градиента температуры на единицу длины у границы участка $\Delta T_{ср}$ определяется как среднее арифметическое мгновенное значение ΔT для 3 – 5 промежуточных моментов времени действия тока:

$$\Delta T_{ср} = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2 + \ldots + \Delta T_n}{n}, \qquad (8)$$

где ΔT_1, ΔT_2, ΔT_n – мгновенное значение перепада температур у границы участка l в промежуточные моменты времени; n – число промежуточных моментов времени.

Для определения мгновенных числовых значений ΔT выбираем два сечения *1* и *2* у границы участка l, расположенной симметрично относительно границы участка l на расстоянии dx друг от друга (рис. 8).

Расстояние от поверхности сопряжения детали до сечения *1* обозначим x_1, до второго – x_2. В таком случае расстояние от поверхности сопряжения деталей до сечений *1* и *2* равно:

$$x_1 = \frac{l}{2} - \frac{\Delta x}{2}; \quad x_2 = \frac{l}{2} + \frac{\Delta x}{2}.$$

Принимается условно $\Delta x = 0{,}1l$.

ΔT на участке Δx для каждого промежуточного момента времени определяется:

$$\Delta T_{пр} = \frac{T\left(x_1, t_{пр}\right) - T\left(x_2, t_{пр}\right)}{\Delta x}, \qquad (9)$$

где T_{X1} – температура в сечении x_1; $t_{пр}$ – промежуточный момент времени; T_{X2} – температура в сечении x_2 в тот же момент времени.

Для определения температур в сечениях x_1 и x_2 в любой момент времени для случая, когда Δx составляет доли миллиметров можно воспользоваться зависимостью:

$$T(x,t) = T_{\max} \times \varphi(y), \qquad (10)$$

где T_{max} – температура у начальной поверхности сопряжения деталей, может быть принята равной $T_{пл}$ металла; $\varphi(y)$ – интеграл вероятностей Гаусса.

$$\varphi(y) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-y^2} dy. \qquad (11)$$

Числовое значение y в интеграле определяется:

$$y = \frac{x}{2\sqrt{a \times t}}; \qquad a = \frac{\lambda}{c \times \gamma},$$

где x – расстояние от начальной поверхности сопряжения деталей до интересующего сечения, *см*; a – коэффициент температуропроводности металла, $см^2/с$; t – время от момента включения тока, *с*. Числовые значения $\varphi(y)$ в зависимости от y представлены в табл. 1.

Температура в сечениях *1* и *2* в данный момент времени рассчитывается по формуле (9). Находим $\Delta T_{пр}$ для каждого промежуточного момента времени. Средний перепад температур за время действия тока определяется по формуле (8).

Средняя температура нагрева участка l к моменту времени t_n определяется из допущения, что в пределах этого участка снижение температуры от начальной поверхности сопряжения деталей по направлению к границе участка l к моменту выключения тока происходит по линейному закону. В таком случае средняя температура участка l представляет среднюю линию трапеции.

Таблица 1

y	$\varphi(y)$		y	$\varphi(y)$		y	$\varphi(y)$
0,05	0,944		0,70	0,322		1,35	0,056
0,1	0,877		0,75	0,289		1,40	0,048
0,15	0,832		0,80	0,258		1,45	0,040
0,2	0,777		0,85	0,229		1,50	0,034
0,25	0,724		0,90	0,203		1,55	0,028
0,3	0,671		0,95	0,179		1,60	0,024
0,35	0,621		1,0	0,157		1,65	0,020
0,40	0,581		1,05	0,139		1,70	0,016
0,45	0,524		1,10	0,120		1,75	0,013
0,50	0,479		1,15	0,104		1,80	0,010
0,55	0,437		1,20	0,090		1,85	0,009
0,60	0,396		1,25	0,077		1,90	0,007
0,65	0,358		1,30	0,066		1,95	0,006

При таком допущении ΔT_l к моменту выключению тока на всем протяжении остается постоянным. Из этого вытекает, что средняя температура нагрева может быть определена:

$$\Delta T_{ср} = T_{\max} - \frac{l}{4}\Delta T_n. \quad (12)$$

Падение напряжения на участке l U_l согласно экспериментальным данным приведены в табл. 2.

Таблица 2

Материал	Н/у сталь	Медь	Латунь	Алюминий
U_l, *В*	0,5 … 0,6	0,1 … 0,15	0,2 … 0,25	0,15 … 0,2

Подставив найденные значения величин в выражение (6), определим сварочный ток $I_{св}$.

Плотность тока:

$$j = \frac{I_{св}}{F} = \frac{l \times \gamma \times c \times T_{ср} + 2\lambda \times \Delta T_{ср} \times t}{U_l \times t}. \quad (13)$$

Пусть $A = \dfrac{2\lambda \times \Delta T_{ср}}{U_l}$, $B = \dfrac{l \times \gamma \times c \times T_{ср}}{U_l}$.

$$j = A + \frac{B}{t}. \quad (14)$$

при $t = \infty$ $j = A$, где A – минимальная необходимая плотность тока.

Числовые значения A и B для некоторых металлов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Материал	Н/у сталь	Медь	Латунь	Алюминий
A, *А/мм*^{2}	14 … 18	80 … 120	40 … 60	50 … 70
B, $\dfrac{A \times c}{мм^2}$	100 … 120	230 … 250	100 … 120	90 … 100

Зная A и B, можно быстро определить j. Несоблюдение соотношения между плотностью тока и временем его действия неблагоприятно отражается на качестве и эффективности процесса сварки.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ВЫБОРА ТОКА ОПЛАВЛЕНИЯ

При сварке всех материалов важным условием достижения высокого качества соединений является непрерывность оплавления (устойчивость). Для достижения непрерывности оплавления нужно, чтобы в каждый момент времени скорость сближения деталей равна была скорости их оплавления. Допустимая скорость сближения деталей определяется величиной тока оплавления *($I_{опл}$).* Поэтому важно, чтобы скорости сближения деталей соответствовал определенный ток оплавления. Приемлемое соотношение между током оплавления и скоростью сближения деталей может быть получено из баланса теплоты участка металла, оплавленного за 1*с*.

$$q_в = q_т + q_м + q_{вз}, \qquad (15)$$

где $q_в$ – количество тепла, выделившееся на участке Δl за время его оплавления.

При расчете количества тепла, выделившегося на участке Δl (рис. 9), нужно иметь ввиду, что для искрового промежутка более определенной величиной является его сопротивление, а не падение напряжения.

В связи с этим:

$$q_в = I^2_{опл} \times R_{опл}, \text{ (за 1 с)}$$

где $I_{опл}$ – ток в стадии оплавления, *А*; $R_{опл}$ – средняя величина сопротивления оплавляемого участка Δl, *Ом*.

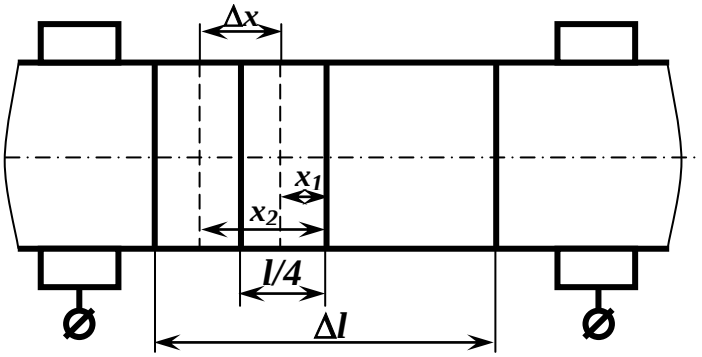


Рис. 9. Схема к расчету режимов стыковой сварки оплавлением

При сварке непрерывным оплавлением:

$$q_m = \Delta l \times F \times \gamma \times c \times T_{опл}. \quad (16)$$

При сварке оплавлением с подогревом:

$$q_m = \Delta l \times F \times \gamma \times c \times \left(T_{опл} - T_{подогрева} \right), \quad (17)$$

где $T_{опл}$ – температура оплавления металла, °C; $T_{подогрева}$ – температура подогрева металла до начала оплавления °C.

$$q_м = 2\lambda \times F \times \Delta T_{ср}. \quad (18)$$

$$q_{вз} = H \times P \times \Delta l \times \Delta \theta_{ср}, \quad (19)$$

где P – периметр свариваемого сечения.

Для большинства случаев стыковой сварки оплавлением величиной $q_{вз}$ можно пренебречь.

Тогда:

$$q_в = q_m + q_м. \quad (20)$$

С учетом (15), (16), (17) и (18) получим для условий:

сварка непрерывным оплавлением:

$$I_{опл} = \sqrt{\frac{\Delta l \times F \times \gamma \times c \times T_{опл} + 2\lambda \times F \times \Delta T_{ср}}{R_{опл}}}. \quad (21)$$

сварка оплавлением с подогревом:

$$I_{опл} = \sqrt{\frac{\Delta l \times F \times \gamma \times c \times \left(T_{опл} + T_{подогрева} \right) + 2\lambda \times F \times \Delta T_{ср}}{R_{опл}}}. \quad (22)$$

Числовые значения членов этих уравнений определяются исходя из следующих условий: c принимается при температуре $T_{опл}$, среднее значение λ – в интервале $0 \div T_{опл}$; Δl – равной длине участка, оплавляемого за первую секунду стадии непрерывного оплавления, что соответствует числовому значению средней скорости оплавления за то же время. Величина Δl для низкоуглеродистых сталей принимается согласно табл. 4.

Таблица 4

F, *мм*^{2}	25	100	250	500	1000	2500	5000 и более
Δl, *см*	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,15	0,025

Для *Al* и *Cu* сплавов Δl можем принять в 2 ÷ 3 раза больше, чем для низкоуглеродистой стали. Для нержавеющей стали и *Ti* сплавов Δl можем принять в 1,5 ÷ 2 раза меньше, чем для низкоуглеродистой стали.

$T_{опл}$ – принимаем как среднее арифметическое между $T_{пл}$ и $T_{кипения}$:

$$T_{опл} = \frac{T_{пл} + T_{кипения}}{2}. \qquad (23)$$

Методика определения $\Delta T_{ср}$ может быть принята для приближенных расчетов при сварке непрерывным оплавлением, исходя из допущений: каждая из деталей за 1*с* оплавляется на $\Delta l/2$; *grad T* у границы участка Δl не изменяется, если вместо фактического хода процесса, при котором оплавление одной детали непрерывно перемещающейся на длину $\Delta l/2$, принять условную схему, при которой оплавляемая поверхность остается в течение 1*с* неподвижной, расположенной на расстоянии $\Delta l/4$ от границы рассматриваемого участка и сохраняется в течение 1*с* $T_{пл}$. При таком допущении методика определения $\Delta T_{ср}$ для стыковой сварки оплавлением сводится к методике определения $\Delta T_{ср}$ для стыковой сварки сопротивлением.

При принятых допущениях для определения $\Delta T_{ср}$ выбираем 2 сечения по обе стороны границы участка Δl, расстояние между сечениями равно Δx. В таком случае расстояние указанного сечения от условно неподвижного сечения, находящегося на расстоянии $\Delta l/4$:

$$x_1 = \frac{\Delta l}{4} - \frac{\Delta x}{2}; \quad x_2 = \frac{\Delta l}{4} + \frac{\Delta x}{2}.$$

Δx – может быть принято равным $0{,}1\Delta l$.

Поскольку общее время, за которое составлен баланс теплоты равно

1c, за промежуточные моменты времени можно принять 0,25c, 0,5c, 0,75c и 1c. Остальные операции по определению $\Delta T_{ср}$ выполняются аналогично, что и для стыковой сварке сопротивлением.

При стыковой сварки оплавлением с подогревом для расчета $\Delta T_{ср}$, x_1 и x_2 принимают такими же, как и при сварке непрерывным оплавлением, а промежуточные моменты времени следует выбирать, исходя из общего времени нагрева.

Время подогрева при сварке принимается:

$$t_{под} = (0{,}02 \div 0{,}03)F.$$

Температура подогрева $T_{под}$ может быть принята равной для углеродистых и низколегированных сталей 800 ÷ 1000°C, жаропрочных сталей и сплавов – 1100 ÷ 1300°C, цветных металлов – (0,5 ÷ 0,6)$T_{пл}$.

$R_{опл}$ – для приближенных расчетов определяется по формулам:

для круга и квадрата и близких к ним сечений:

$$R_{опл} = \frac{C_1}{d\sqrt{\Delta l}}. \qquad (24)$$

для тонких листов, тонкостенных труб и подобных деталей с различным сечением:

$$R_{опл} = \frac{C_2}{\delta^2 \times l\sqrt{\Delta l}}. \qquad (25)$$

где d – диаметр круга, равновеликого по площади свариваемого сечения, *см*^{2}; Δl – длина участка, оплавляемого за 1c, *см*; δ – толщина свариваемых деталей, *см*; l – длина свариваемого стыка, *см*; C_1 и C_2 – зависят от рода свариваемого металла (табл. 5, 6).

Таблица 5

Металл	Углеродистые стали	Алюминиевые сплавы	Медные сплавы	Титановые сплавы
C_1	0,0025…0,003	0,0014…0,0018	0,001…0,0012	0,0037…0,0045
C_2	0,0011…0,0013	0,00065…0,00075	0,00044…0,00052	0,0016…0,0019

При $F < 3000$ *мм*^{2}:

Таблица 6

Материал	Стали	Алюминиевые сплавы	Медь и ее сплавы	Титановые сплавы
$j_{опл}$, *А/мм*^{2}	5…35	15…60	20…86	4…25

Минимальные плотности тока относятся к «мягким» режимам, максимальные – к «жестким».

Для $F > 5000$ *мм*^{2} при сварке деталей из низкоуглеродистых и низколегированных сталей при «мягких» режимах сварки $j_{опл}$ снижаются до $0{,}8 \div 1$ *А/мм*^{2}.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОКА ОСАДКИ И МОЩНОСТИ МАШИНЫ ДЛЯ СТЫКОВОЙ СВАРКИ ОПЛАВЛЕНИЕМ С ПОДОГРЕВОМ

Ток осадки ($I_{ос}$) для случаев, когда весь процесс сварки производится при одном и том же напряжении U_{20} сварочного трансформатора (на одной и той же ступени регулировки), может быть определен из соотношения:

$$\frac{I_{ос}}{I_{опл}} = \frac{Z_{2опл}}{Z_{2ос}},$$

$$I_{ос} = I_{опл}\frac{Z_{2опл}}{Z_{2ос}}, \qquad (26)$$

где $Z_{2опл}$ – полное сопротивление сварочной цепи во время оплавления; $Z_{2ос}$ – полное сопротивление сварочной цепи во время осадки; $I_{опл}$ – ток оп-

лавления.

$$Z_{2опл} = (1{,}1\ldots1{,}2)R_{опл},$$

где $R_{опл}$ – расчет выше. $Z_{2ос}$ – может быть определено по известной методике расчета сопротивления сварочной цепи контактных машин.

В стыковых машинах общего назначения:

$$Z_{2ос} = (100\ldots200)мкОм.$$

Ориентировочная плотность тока при осадке $j_{ос}$ приведена в табл. 7.

Таблица 7

Материал	Н/у стали	В/л стали	Алюминиевые сплавы	Медные сплавы	Титановые сплавы
$j_{ос}$, $А/мм^2$	40…60	35…50	70…150	100…200	20…40

Ток подогрева принимаем равным току осадки. Кратковременная мощность машины для стыковой сварки оплавлением с подогревом рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{I_{опл} \times Z_{2опл} \times I_{ос}}{\eta}, \qquad (27)$$

η = 0,9 ÷ 0,95 – *КПД* для сварочных трансформаторов.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СВАРОЧНОГО ТОКА ПРИ ИСХОДНОМ СПОСОБЕ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Приступая к расчету сварочного тока $I_{св}$ для точечной сварки целесообразно выбрать время его действия. Для этого используют формулу:

$$t = k_в \times \delta, \qquad (28)$$

где t – время действия тока, *с*; δ – толщина металла, *мм*; $K_в$ – коэффициент пропорциональности, *с*/*мм* (табл. 8).

Таблица 8

Материал	Н/у сталь	Н/л закал. сталь	Нерж. стали	Алюм. сплавы	Магниевые сплавы
$K_в$, *с/мм*	0,06…0,4	0,37…0,55	0,08..0,17	0,12…0,2	0,1…0,16
Материал	Теплоустойчивые стали	Титан. сплавы	Латунь	Монель	Никель
$K_в$, *с/мм*	0,3…0,4	0,1…0,2	0,08…0,1	0,13…0,2	0,18…0,25

При выборе $K_в$ для конкретного случая сварки нужно иметь ввиду, что на оптимальное время действия тока помимо рода металла влияют:

1) Требуемая производительность машины на данной операции.

2) Мощность имеющейся сварочной машины.

3) Резервные мощности сети.

4) Затраты на осуществление сварки (чем меньше $K_в$, тем меньше).

Задавшись *t,* переходам к расчету. Для этого составляем баланс теплоты для ядра точки:

$$q_в = q_т + q_м, \tag{29}$$

где $q_в$ – количество теплоты, выделившееся в ядре точки, *Дж*.

$$q_в = I_{св} \times U_я \times t, \tag{30}$$

где $U_я$ – падение напряжения в ядре точки, *В*.

$$q_т = G_я \times c \times T_я = V_я \times \gamma \times c \times T_я, \tag{31}$$

где $G_я$ – вес ядра точки, *г*; $V_я$ – объем ядра точки, $см^3$; $T_я$ – температура ядра точки к концу стадии нагрева, °С.

$$q_м = \lambda \times S_я \times \Delta T_{ср} \times t, \tag{32}$$

где $S_я$– поверхность ядра точки, $см^2$.

$$I_{св} = \frac{V_я \times \gamma \times c \times T_я + \lambda \times S_я \times \Delta T_{ср} \times t}{U_я \times t}. \tag{33}$$

Принимаем, что ядро имеет форму шарового пояса (рис. 10).

$$V_я = \frac{1}{6}\pi h^3 + \pi r^2 h, \tag{34}$$

$$S_я = 2\pi Rh + 2\pi r^2, \tag{35}$$

где h – высота пояса, *см*; R – в *см*; r – в *см*.

Высота пояса равна высоте ядра или суммарной глубине проплавления, *см*.

Если принять, что глубина проплавления каждой детали равна половине её толщины, то

$$h = \delta, \quad R = 0{,}5 d_я,$$

$$r = \sqrt{R^2 - \frac{h^2}{4}}, \tag{36}$$

$d_я$ – диаметр ядра точки, *см*.

Диаметр ядра точки можно принять по табл. 9.

Таблица 9

$\delta_{\min}$, *мм*	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	1,8
$d_я$, *мм*	2,5	2,7	3	3	3,3	3,5	4	5	6	6,5
$\delta_{\min}$, *мм*	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	
$d_я$, *мм*	7	8	9	10,5	11	12	13	14	15	

Пользуясь указанными соотношениями, определяем $V_я$ и $S_я$. Числовые значения γ, c, и λ для данного металла выбираем по литературным данным. При этом значение c принимает для конечной температуры нагрева $T_{нагр}$ металла ядра точки, а λ – для средней температуры $0 \div T_я$.

$$T_я = T_{пл} + 200°C.$$

Числовые значения $\Delta T_{ср}$ определяются по формуле (8).

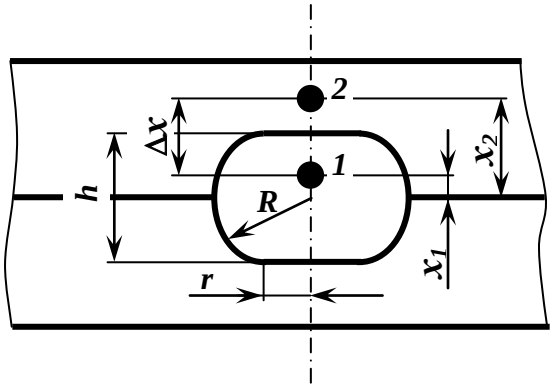
Для определения мгновенного значения ΔT выбираем две точки *1* и *2* вдоль оси электродов на равном расстоянии от границы. Расстояние между *1* и *2* обозначим через Δx (рис. 10).

Тогда расстояние точек *1* и *2* от плоскости сопряжения деталей будет

равно:

$$x_1 = \frac{h}{2} - \frac{\Delta x}{2}; \quad x_2 = \frac{h}{2} + \frac{\Delta x}{2},$$

Δx – принимается равным $0{,}1h$.



R – радиус сферы; r – радиус основания шарового пояса; h – высота пояса

Рис. 10. Схема к расчету ΔT при точечной сварке

Задаемся временем действия тока t (см. выше) и выбираем 3 ÷ 5 его промежуточных значений. Дальнейший порядок определения $\Delta T_{ср}$ аналогичен порядку нахождения $\Delta T_{ср}$ для стыковой сварки, сопротивлением.

$U_я$ – падение напряжения в ядре принимается согласно табл. 10.

Таблица 10

Материал	Углер. сталь	Нерж. сталь	Алюм. и магн. сплавы	Медные сплавы	Титановые сплавы
$U_я$, *В*	0,45 – 0,55	0,55 – 0,65	0,1 – 0,18	0,2 – 0,3	0,4 – 0,5

РАСЧЕТ СВАРОЧНОГО ТОКА И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ДЛЯ ШОВНОЙ СВАРКИ

Основные параметры режима шовной сварки: $I_{св}$, $t_{св}$, $t_п$, $V_{св}$, $P_{св}$.

Для расчета сварочного тока $I_{св}$ воспользуемся методикой расчета при исходном способе точечной сварки.

Специфика шовной сварки предопределяет отличия этого расчета:

1) В уравнение тока для точечной сварки вводится коэффициент шунтирования. В таком случае:

$$I_{св} = \frac{V_я \times \gamma \times c \times T_я + \lambda \times S_я \times \Delta T_{ср} \times t}{U_я \times t} \times k_ш, \quad (37)$$

$k_ш$= 1,3 ÷ 1,5.

2) Особенности определения объема и поверхности ядра, расплавленного за 1 импульс тока.

Для приближенных расчетов этих величин при шовной сварке можно принять, что мнимое ядро имеет форму параллелепипеда со сторонами $l_я$, $b_я$ *и* $h_я$, характеризующие соответственно длину, ширину и высоту зоны расплавления при каждом импульсе тока, *см*.

Тогда объем ядра точки:

$$V_я = l_я \times b_я \times h_я, \ см^3$$

Площадь сечения ядра точки:

$$S_я = 2(l_я \times b_я + b_я \times h_я + l_я \times h_я), \quad (38)$$

где $l_я$ – рассчитывается по формуле:

$$l_я = a + b, \quad (39)$$

a – шаг точек или приращение длины шва за 1 цикл сварки; b – длина перекрытия соседних точек, *см*.

Величина шага определяется из формулы:

$$a = V_{св} \times (t_{св} + t_п), \quad (40)$$

где $V_{св}$ – скорость сварки, *см*/*с*; $t_{св}$ – длительность импульса, *с*; $t_п$ – длительность паузы, *с*.

Величина перекрытия соседних точек выбирается в пределах:

$$b = (0{,}5 \ldots 1{,}0)a.$$

Тогда:

$$l_я = a + b = (1{,}5 \ldots 2{,}0)a = (1{,}5 \ldots 2{,}0) \times V_{св} \times (t_{св} + t_п). \quad (41)$$

Расчет значений $V_{св}$, $t_{св}$, $t_п$ определяются по формулам:

$$V_{св} = \frac{5}{3} k_c \times \delta_{\min},\ см/с \quad (42)$$

$$t_{св} = k_m \times \delta_{\min},\ с \quad (43)$$

$$t_п = k_п \times \delta_{\min},\ с \quad (44)$$

где δ_{min} – толщина тонкой детали, *мм*; $К_с$, $К_т$ и $К_п$ – коэффициенты, взятые из табл. 12.

При «жестких» режимах принимается максимальное значение для $К_с$ и минимальное для $К_т$ и $К_п$, при «мягких» – минимальное значение для $К_с$ и максимальное для $К_т$ и $К_п$.

Ширина расплавленной зоны определяется по формуле

$$b_я = k_{вш} \times \delta_{\min}. \quad (45)$$

Коэффициент $К_{вш}$ зависит от толщины и принимается (табл. 11).

Таблица 11

δ_{min}	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$К_{вш}$	7	4,5	4,33	4	3,6	3,2

Таблица 12

$К_i$			$К_с$				$К_т$	$К_п$
δ, мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	0,5-3,0	0,5-3,0
Н/углер. стали	2-4	0,5-1	0,3-0,6	0,2-0,24	0,17-0,2	0,1-0,15	0,04-0,08	0,06-0,1
Н/легир. сталь	1,2-1,8	0,6-1,8	0,34-0,4	0,25-0,3	0,16-0,2	0,1-0,13	0,06-0,10	0,08-0,12
Корроз. ст. сталь	1,2-2,6	0,5-0,8	0,26-0,46	0,15-0,30	0,12-0,2	0,07-0,14	0,04-0,08	0,06-0,1
Жаропроч. стали	1,0-1,2	0,3-0,45	0,18-0,26	0,1-0,18	0,06-0,12	0,05-0,08	0,12-0,16	0,2-0,23
Титанов. сплавы	1,8-2	0,5-0,8	0,4-0,46	0,25-0,3	0,16-0,2	0,1-0,13	0,1-0,14	0,14-0,24
Алюмин. сплавы	0,8-1,2	0,4-0,5	0,2-0,25	0,2-0,25	0,16-0,2	0,12-0,14	0,04-0,08	0,06-0,1
Медные сплавы	1,4-2	0,65-0,95	0,4-0,6	0,25-0,35	0,18-0,25	0,15-0,18	0,04-0,08	0,06-0,1

Высота ядра принимается равной толщине более тонкой детали:

$$h_я = \delta_{\min}. \quad (46)$$

Определяем по выбранным размерам объем и поверхность ядра. Значения остальных членов уравнения выбираем, как и при точечной сварке.

5. ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Занятие №1. Разработать карту сварного соединения стыковой контактной сварки сопротивлением стержней диаметром 15 мм из стали 09Г2С

Занятие №2. Разработать карту сварного соединения стыковой контактной сварки оплавлением стержней диаметром 20 мм из стали А400

Занятие №3. Разработать карту сварного соединения точечной контактной сварки листов внахлестку толщиной 0,5 мм из сплава АМг6

Занятие №4. Разработать карту сварного соединения шовной контактной сварки листов внахлестку толщиной 1,2 мм из стали 08Х18Н10Т

Занятие №5. Разработать карту сварного соединения электроконтактной сварки листов толщиной 0,7 мм из жаропрочных сплавов

6. ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ НА СЕМЕСТРОВУЮ РАБОТУ

1. Разработка технологии точечной сварки листов из стали 09Г2С толщиной 0,8 мм

2. Разработка технологии точечной сварки листов из стали 08Х18Н10Т толщиной 0,5 мм

3. Разработка технологии точечной сварки листов из титана ВТ1 толщиной 1,2 мм

4. Разработка технологии точечной сварки листов из алюминиевого сплава АМг6 толщиной 0,8 мм

5. Разработка технологии шовной сварки листов из алюминиевого сплава АМг6 толщиной 1 мм

6. Разработка технологии шовной сварки листов из стали 09Г2С толщиной 1,2 мм

7. Разработка технологии шовной сварки листов из стали 08Х18Н10Т толщиной 1,5 мм

8. Разработка технологии шовной сварки листов из титана ВТ1 толщиной 0,7 мм

9. Разработка технологии стыковой сварки стержней из стали 20 диаметром 10 мм

10. Разработка технологии стыковой сварки стержней из стали 08Х18Н10Т диаметром 15 мм

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банов М.Д. Технология и оборудование контактной сварки. – М.: ИЦ «Академия», 2009. – 215 с.

2. Климов А.С., Смирнов И.В., Кудинов А.К., Кудинова Г.Э. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки. – Спб.: Издательство «Лань», 2011. – 336 с.

3. Климов А.С., Машнин Н.Е. Роботизированные технологический комплексы и автоматические линии в сварке. – Спб.: Издательство «Лань», 2011. – 240 с.

4. Сварка, резка, контроль: справочник. Т.2 / под ред. Н.П. Алешина. – Машиностроение, 2008. – 480 с.

5. Патон Б.Е., Лебедев В.К. Электрооборудование для контактной сварки. – М.: Машиностроение, 2009.

6. Глебов Л.В. и др. Расчет и конструирование машин контактной сварки. – Л.: Энергия, 2010.

7. Рыськова Э.А. Трансформаторы для электрической контактной сварки. – Л.: Энергия, 2008.

8. Рязанцев В.И., Овчинников В.В. Технологические основы контактной сварки легких сплавов: Учебное пособие. - М.: МГИУ, 2011. - 164 с.

9. Чуларис А.А., Рогозин Д.В. Технология сварки давлением. - Ростов н/Д: Феникс, 2009. - 211 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение…….....3

1. ВИДЫ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ…….....5

2. ТОЧЕЧНАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА...…….....11

2.1. Шунтирование тока при точечной сварке…….....11

2.2. Циклограммы точечной сварки …….. ……..... **12**

2.3. Общие особенности технологии точечной сварки……..…… **14**

3. ШОВНАЯ КОНТАКТНАЯ СВАРКА.…….....15

3.1. Шунтирование тока при шовной сварке……. ……..... **15**

3.2. Циклограммы шовной сварки…….....16

4. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ….......18

4.1. Лабораторные работы № 1, 2 ……..…….....18

4.2. Лабораторная работа № 3…….....26

4.3. Лабораторная работа № 4……...…….....33

4.4. Лабораторная работа № 5…...…….....41

5. ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ…….....……..59

6. ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ НА СЕМЕСТРОВУЮ РАБОТУ……......59

Список использованной литературы…….....61

Для заметок

Учебное издание

Александр Васильевич **Савинов**

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Учебно-методическое пособие

Выпускающий редактор Н. Н. Кваша
Темплан 2016 г., поз. № 215.
Подписано в печать 15.12.2016. Формат 60×84.
Бумага газетная. Печать офсетная. Гарнитура Times. Усл.-печ. л. 3,72.
Уч.-изд. л. 2,94. Тираж 50 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет.
400005, Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ
400005, Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 7.