

**В. В. ОВЧИННИКОВ**

# **ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ**

## **Лабораторно-практические работы**

*Рекомендовано*

*Федеральным государственным учреждением  
«Федеральный институт развития образования»  
в качестве учебного пособия для использования  
в учебном процессе образовательных учреждений,  
реализующих программы среднего  
профессионального образования*

*Регистрационный номер рецензии 316  
от 16 июня 2009 г. ФГУ «ФИРО»*

5-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2016

УДК 621.791.76(075.32)  
ББК 30.61я723  
О-355

Рецензент —  
преподаватель спецдисциплины  
«Сварочное производство» ГОУ СПО «Строительный колледж № 41», г. Москва  
*Н. О. Петрусёва*

**Овчинников В. В.**

О-355 Технология и оборудование контактной сварки : Лабораторно-практические работы : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Овчинников. — 5-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2016. — 160 с.

ISBN 978-5-4468-4156-1

Лабораторно-практические работы предназначены для изучения предмета «Технология и оборудование контактной сварки» и являются частью учебно-методического комплекта по специальности «Сварочное производство».

Рассмотрены процессы формирования сварных соединений контактной сваркой. Приведены особенности нагрева и деформирования металла в процессе контактной сварки. Описаны технологии и оборудование для контактной сварки современных конструкционных материалов. Отмечены основные дефекты сварных соединений и причины их образования.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.791.76(075.32)  
ББК 30.61я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

ISBN 978-5-4468-4156-1 © Овчинников В. В., 2010  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

## Уважаемый читатель!

Данное учебное пособие является частью учебно-методического комплекта для специальности «Сварочное производство».

Учебное пособие предназначено для изучения профессионального модуля «Подготовка и осуществление технологических процессов изготовления сварных конструкций».

Учебно-методические комплекты нового поколения включают в себя традиционные и инновационные учебные материалы, позволяющие обеспечить изучение общеобразовательных и общепрофессиональных дисциплин и профессиональных модулей. Каждый комплект содержит учебники и учебные пособия, средства обучения и контроля, необходимые для освоения общих и профессиональных компетенций, в том числе и с учетом требований работодателя.

Учебные издания дополняются электронными образовательными ресурсами. Электронные ресурсы содержат теоретические и практические модули с интерактивными упражнениями и тренажерами, мультимедийные объекты, ссылки на дополнительные материалы и ресурсы в Интернете. В них включены терминологический словарь и электронный журнал, в котором фиксируются основные параметры учебного процесса: время работы, результат выполнения контрольных и практических заданий. Электронные ресурсы легко встраиваются в учебный процесс и могут быть адаптированы к различным учебным программам.

*Контактная сварка* — это процесс образования сварного соединения в результате нагрева металла проходящим через него электрическим током и последующей пластической деформации зоны соединения под действием сжимающего усилия.

Контактная сварка объединяет большую группу способов сварки, основными из которых являются:

- точечная;
- шовная;
- рельефная;
- стыковая.

Отличительные особенности этих способов сварки — надежность соединений, высокий уровень механизации и автоматизации, высокая производительность процесса и культура производства.

Контактная сварка является одним из основных видов сварки давлением для изготовления сварных конструкций.

Широкое распространение контактной сварки обусловлено ее преимуществами по сравнению с другими способами сварки:

- высокая производительность (время сварки одной точки или стыка составляет 0,02... 1 с);
- малый расход вспомогательных материалов (воды, воздуха);
- высокое качество и надежность сварных соединений при небольшом числе управляемых параметров режима сварки, что снижает требования к квалификации сварщика;
- экологическая чистота процесса.

Область применения контактной сварки чрезвычайно широка — от космических аппаратов до миниатюрных полупроводниковых устройств и пленочных микросхем. Видное место занимает этот способ и в самолетостроении — на современных авиалайнерах насчитываются миллионы сварных точек и сотни метров швов, выполненных контактной шовной сваркой.

Весьма широко применяется контактная многоточечная и рельефная сварка в автомобилестроении. Контактную сварку используют также в вагоностроении, судостроении, строительстве.

Контактная стыковая сварка оплавлением нашла применение при монтаже трубопроводов и укладке железнодорожных рельсов в полевых условиях, в котлостроении при шиповке трубных досок, при изготовлении силовых элементов (шпангоутов) и инструмента.

Различные легированные стали и сплавы со специальными свойствами, конструкционные стали, сплавы на основе титана и меди, алюминиевые и магниевые сплавы, тугоплавкие сплавы и порошковые композиции — вот далеко не полный перечень конструкционных материалов, которые с успехом соединяют контактной сваркой.

В содержании лабораторно-практических работ нашли отражение основные темы для изучения режимов различных видов контактной сварки с последующей корректировкой параметров режима по результатам испытания образцов, исследования влияния параметров режима контактной сварки на качество сварного соединения, ознакомления с устройством типовых узлов, систем и электрических параметров серийно выпускаемых машин для контактной сварки.

# ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРА ФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ

Целью работы является изучение характера формирования соединения при контактной точечной сварке деталей равной и неравной толщины.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Условия получения соединения при контактной точечной сварке

При контактной точечной сварке детали соединяются на отдельных участках их соприкосновения — точках.

Детали собирают внахлестку, зажимают между электродами из медных сплавов, подключенными ко вторичной обмотке сварочного трансформатора, и пропускают через место сварки короткий импульс электрического тока.

В области контакта между деталями металл расплавляется, образуя *ядро* сварной точки.

Под действием сжимающего усилия происходит пластическая деформация металла, по периметру ядра формируется уплотняющий пояс, предохраняющий ядро от окисления и выплеска и соединяющий свариваемые детали.

Нагрев при контактной точечной сварке обычно осуществляется импульсами переменного тока (50 Гц) или униполярными импульсами (ток одной полярности с переменной амплитудой в течение импульса) относительно малой продолжительности (0,01 ... 0,5 с).

По способу подвода тока контактная точечная сварка может быть двухсторонней и односторонней.

При двухсторонней сварке ток подводят к каждой из деталей, а при односторонней — только к одной. Для того чтобы обеспечить достаточное тепловыделение в контакте деталей, со стороны нижнего листа часто используют шунтирующую медную подкладку.

Разновидностью односторонней точечной сварки является сварка с двоянным электродом, которую широко применяют в радиоэлектронике при изготовлении микросхем. Электрод в этом случае выполняют из двух половин, разделенных изолятором или слоем металла с большим сопротивлением.

Различают одноточечную сварку, при которой за одну операцию выполняют сварку одной точки, и многоточечную, при которой одновременно сваривают две точки и более.

Необходимым и достаточным условием образования соединения при контактной точечной и шовной сварке является образование общей зоны расплавленного металла или ядра заданных размеров.

Формирование соединений при контактной точечной сварке происходит в значительной мере по единой схеме, состоящей из трех этапов (рис. 1.1).

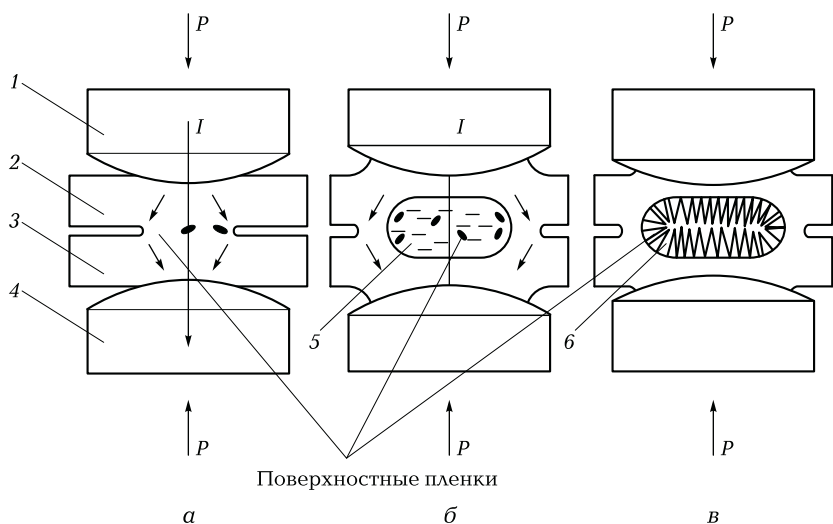


Рис. 1.1. Этапы (а–в) формирования соединения при контактной точечной сварке:

1 — верхний электрод; 2, 3 — свариваемые детали; 4 — нижний электрод; 5 — литое ядро; 6 — закристаллизовавшаяся точка;  $I$  — усилие сжатия электродов при сварке;  $I$  — ток, проходящий через контакт свариваемых деталей в процессе сварки

Первый этап (рис. 1.1, а) начинается с момента включения тока и характеризуется образованием электрического контакта, нагревом и расширением твердого металла, приводящим к увеличению зазоров, вытеснению металла в зазор под действием сварочного усилия и образованию уплотняющего ядра пояска.

Второй этап (рис. 1.1, б) отличается дальнейшим увеличением площади контактов, возникновением и ростом расплавленного ядра до установленного (номинального) для данной толщины детали диаметра  $d_n$ . На этом этапе происходит дробление и перераспределение поверхностных пленок в жидком металле, продолжаются процессы пластической деформации и расширения металла.

Третий этап (рис. 1.1, в) в большинстве случаев начинается с момента выключения тока и характерен охлаждением и кристаллизацией металла.

Основные процессы, обеспечивающие получение соединения, приведены на рис. 1.2.

Степень пластической деформации нагретого металла во внутренний зазор относительно невелика и не обеспечивает удаление оксидных пленок с поверхности контакта деталь — деталь.

Тем не менее указанная деформация относится к основным процессам контактной точечной сварки, ее роль в формировании соединений сводится к получению необходимой площади электрического контакта, образованию вокруг ядра уплотняющего пояска из твердого металла, который препятствует выдавливанию (выплеску) жидкого металла из ядра и защищает его от взаимодействия с окружающей атмосферой.

Изменение усилия дает возможность управлять процессами кристаллизации и влияет на величину остаточных напряжений.

Опыт показывает, что поверхностные пленки (оксиды, слои плакировки), как правило, более тугоплавкие, чем основной металл (исключение составляют оксиды железа), полностью разрушаются и перераспределяются лишь в жидком металле. Этот процесс — один из основных, так как он способствует удалению поверхностных пленок, мешающих взаимодействию в жидкой фазе.

Разрушение и удаление указанных пленок в жидком металле происходит под действием определенных сил, которые имеют электродинамическую природу. Действие этих сил приводит к интенсивному перемешиванию жидкого металла и выравниванию состава ядра при сварке разнородных металлов. Следы перемешивания можно обнаружить по шлифам лишь на ранней стадии процесса.

Нагрев при контактной точечной, рельефной и шовной сварке — ведущий процесс в формировании температурного поля и образо-



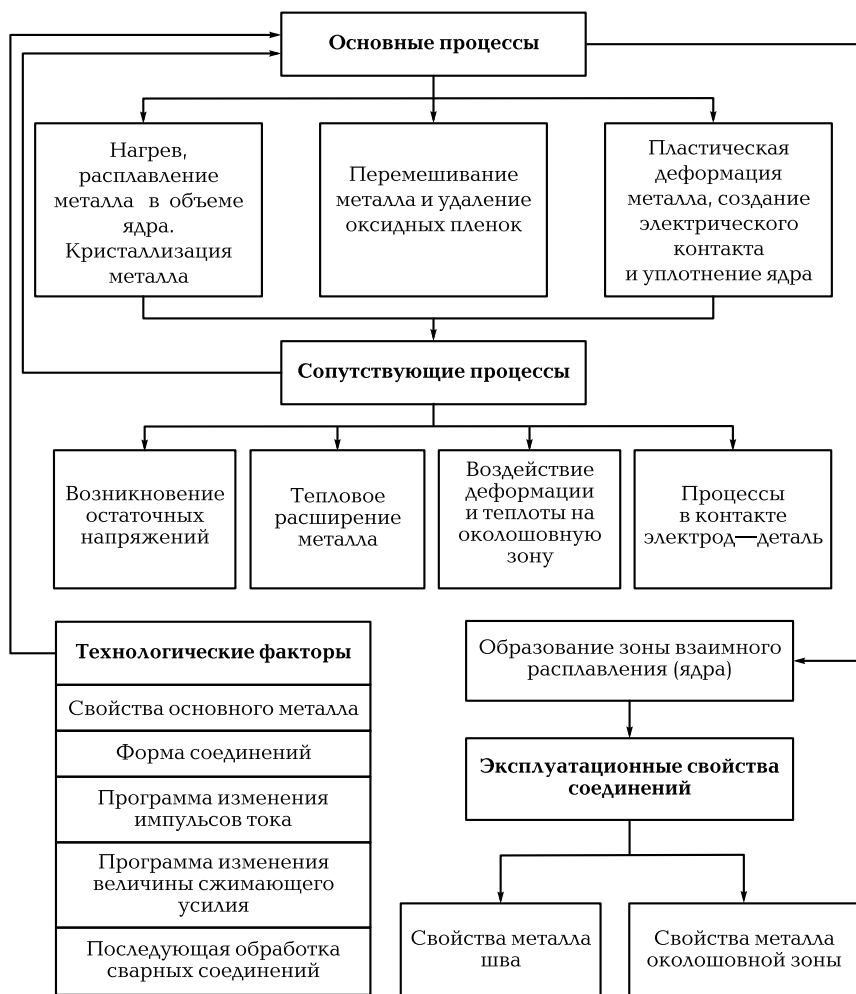


Рис. 1.2. Схема процессов образования соединений при контактной точечной сварке

вании соединений. Теплота выделяется при прохождении тока через участок между электродами, обладающий сопротивлением  $R_{э-э}$ .

Общее сопротивление  $R_{э-э}$  обычно измеряется в микроомах и складывается (рис. 1.3) из контактных сопротивлений деталь — деталь  $R_{д-д}$ , электрод — деталь  $R_{э-д}$  и собственного сопротивления металла деталей  $R_д$ :

$$R_{э-э} = R_д + 2R_{э-д} + R_{д-д}. \quad (1.1)$$

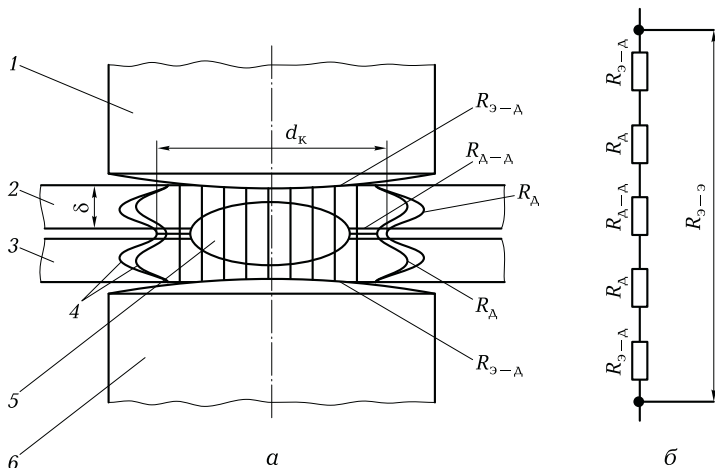


Рис. 1.3. Схема (а) и эквивалентная электрическая цепь (б) зоны сварки: 1 — верхний электрод; 2, 3 — свариваемые детали; 4 — зоны термического влияния; 5 — литое ядро; 6 — нижний электрод;  $R_{э-э}$  — сопротивление между электродами;  $R_{э-д}$  — сопротивление в контакте электрод—деталь;  $R_{д-д}$  — сопротивление в контакте деталь—деталь;  $R_д$  — сопротивление детали;  $\delta$  — толщина свариваемых деталей;  $d_k$  — диаметр площадки контакта между свариваемыми деталями

Все составляющие общего сопротивления непрерывно изменяются в течение термомеханического цикла сварки. Целесообразно рассмотреть отдельно значения  $R_{э-э}$ ,  $R_{э-д}$  и  $R_д$  при комнатной температуре («холодные» сопротивления) и нагреве.

*Контактное сопротивление «холодных» деталей* можно представить следующим образом. Если через проводники *A* и *B* пропустить небольшой ток и замерить милливольтметром перепад напряжений  $\Delta U$  на участках равной длины (рис. 1.4), то  $\Delta U$  на проводнике *B* будет меньше, чем на стыке *AB* из-за наличия в этом стыке контактного сопротивления. Повышение сопротивления току в контактах объясняется ограниченностью фактического контакта деталей. Контакт «холодных» деталей происходит по отдельным микровыступам в местах частичного разрушения поверхностной пленки. Это вызывает резкое уменьшение проводящего сечения, сопровождающееся искривлением и локальным сужением линий тока.

В этих условиях состояние поверхности деталей оказывает сильное влияние на контактные сопротивления. При измерении сопротивления двух пластин из низкоуглеродистой стали толщи-

ной (3 + 3) мм, к которым приложено усилие сжатия 2 000 Н, по схеме амперметр — вольтметр получены следующие значения  $R_{3-3}$ : при зачистке поверхности наждачным кругом и шлифовании — 100 мкОм, обработке резцом — 1 200 мкОм, наличии ржавчины и окалины на поверхности — 80 000 мкОм. В холодном состоянии обычно  $R_A < R_{A-A} + 2R_{3-A}$ . Поэтому  $R_{3-3}$  в основном отражает величину контактных сопротивлений.

С увеличением усилия сжатия  $P_{св}$  в большинстве случаев площадь фактического контакта растет за счет смятия неровностей при пластической деформации и разрушения оксидных пленок. Контактные сопротивления при этом уменьшаются. При снятии усилия значение контактного сопротивления оказывается ниже первоначального (полученного при повышении  $P_{св}$ ).

Наиболее заметно влияние  $P_{св}$  на процесс сварки при использовании электродов с плоской рабочей поверхностью, когда диаметры контактов деталь — деталь  $d_{A-A}$  и электрод — деталь  $d_{3-A}$  мало отличаются. В этом случае рост усилия приводит к заметному возрастанию напряжений в контакте. Если же применять электроды со сферической рабочей поверхностью, то возрастание усилия вызывает значительное увеличение размеров контактов; контактные сопротивления уменьшаются относительно медленно или даже остаются постоянными. Для приближенной оценки сопротивлений в контактах можно считать, что  $R_{3-A} \approx 0,5 R_{A-A}$ .

При нагреве деталей облегчаются процессы пластической деформации микровыступов и разрушения оксидных пленок.

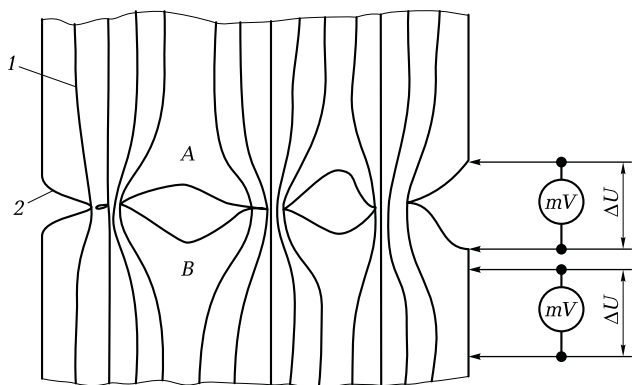


Рис. 1.4. Схема электрического контакта:

1 — линии тока; 2 — поверхностные пленки; mV — милливольтметр;

$\Delta U$  — перепад напряжений; A, B — проводники

В зависимости от времени нагрева (длительности импульса тока) условно различают жесткие и мягкие режимы сварки. *Жесткие* режимы характеризуются мощными импульсами тока малой продолжительности (обычно менее 0,1 с для толщины деталей в диапазоне 0,8... 4 мм). Нагрев при этом сопровождается весьма высокими градиентами температур и определяется в основном распределением плотности тока. Зона максимальных температур в этом случае смещена к границам контактов.

*Мягкие* режимы характеризуются значительной длительностью протекания тока при существенной роли теплообмена в самих деталях и между деталями и электродами. Изотермы высоких температур имеют вид эллипсов. Длительный нагрев металла при мягких режимах существенно меняет первоначальное электрическое поле. Области, отличающиеся повышенной плотностью тока, нагреваются, их сопротивление повышается, что приводит к перераспределению тока, выравниванию неровности электрического и теплового полей и смещению зоны максимальных температур от периферии к центру контакта. Неравномерность нагрева уменьшается также в результате пластической деформации металла и связанного с ней эффекта саморегулирования температурного поля.

Расплавленное ядро образуется лишь спустя некоторое время с момента включения тока, составляющее в среднем  $(0,3 \dots 0,5)t_{\text{св}}$ . Затем ядро продолжает расти, достигая размеров, которые определяются режимом сварки. При этом с увеличением крутизны фронта нарастания тока скорость роста ядра возрастает. Обычно температурное поле рассматривают в момент выключения тока, так как в это время температуры, как правило, достигают максимальных значений. На рис. 1.5 приведено положение изотерм при контактной точечной сварке листов из низкоуглеродистой стали толщиной  $(1,2 + 1,2)$  мм. Около ядра изотермы имеют вид замкнутых кривых линий, на удалении от него — это почти прямые линии, параллельные оси  $y$ . Наибольший градиент температур наблюдается в направлении оси  $y$  (около  $3000^\circ\text{C}$ ). Весьма характерна максимальная температура в контакте электрод — деталь. Обычно считают, что она в среднем составляет  $0,5T_{\text{пл}}$  ( $T_{\text{пл}}$  — температура плавления свариваемого металла). Однако при увеличении длительности импульса и теплопроводности металла эта температура возрастает.

Температурное поле и размеры ядра можно регулировать за счет изменения величины энергетических параметров — силы тока, длительности его протекания и сварочного усилия. Увеличение силы тока приводит к росту ядра. Однако при данных длительности импульса и усилия диаметр ядра имеет предельное (крити-

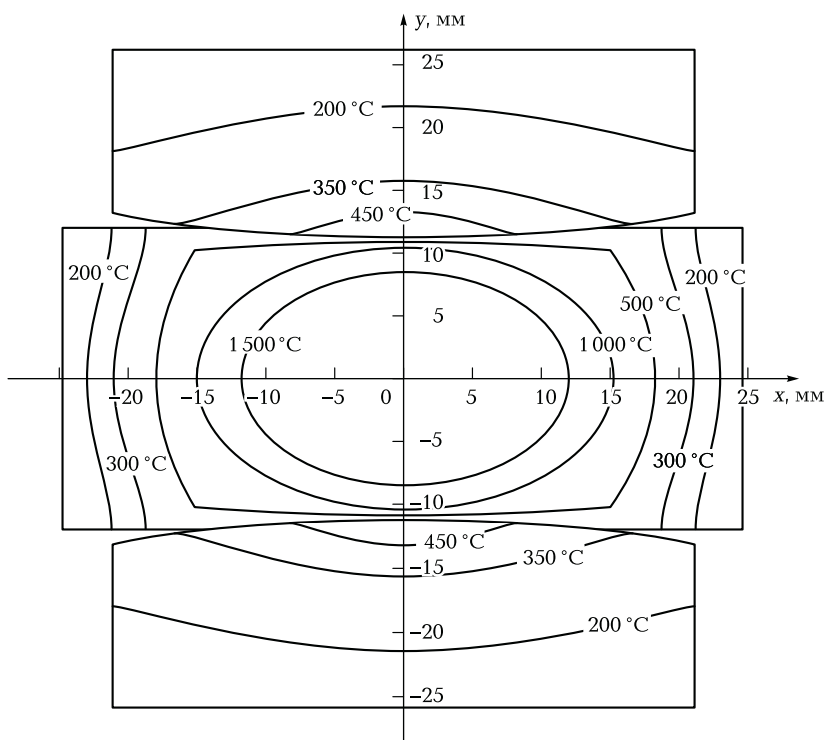


Рис. 1.5. Температурное поле к моменту выключения тока (по данным расчета на ЭВМ)

ческое) значение, так как дальнейшее повышение силы тока приводит к выбросу или выплеску жидкого металла. С ростом усилия ядро уменьшается за счет развития пластической деформации, увеличения площади контактов и снижения плотности тока.

При необходимости соединения деталей неравной толщины возникает ряд трудностей вследствие специфического распределения плотности тока в обеих деталях, неодинакового отвода теплоты от расплавленной зоны к электродам и пониженного сопротивления деформации тонкой детали. По сравнению со сваркой деталей одинаковой толщины при соединении толстой и тонкой деталей из-за сильного растекания тока в толстой детали резко возрастает плотность тока на периферии контакта деталей. Кроме того, неодинаковое удаление зоны расплавления от рабочей поверхности электродов создает в тонкой детали более высокий градиент температур, а поэтому более сильный поток теплоты в электрод.

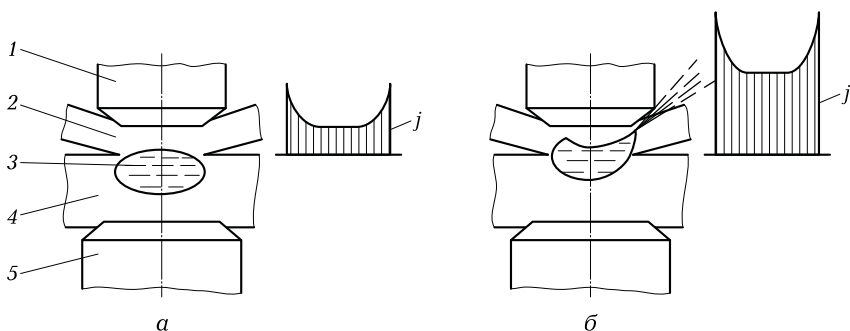


Рис. 1.6. Зона расплавления и плотность тока  $j$  при сварке деталей неравной толщины:

*а* — при мягком режиме; *б* — при жестком режиме; 1 — верхний электрод; 2 — тонкая деталь; 3 — литое ядро; 4 — толстая деталь; 5 — нижний электрод

В результате этих явлений ядро располагается несимметрично относительно стыка деталей и смещается к их центру (рис. 1.6). Проплавление тонкой детали уменьшается. При большой разнице в толщине может возникнуть полный непровар. Стремление повысить температуру тонкой детали резко усиливает ее деформацию: в ней появляются глубокие вмятины от электродов, раскрываются зазоры между деталями. Все эти обстоятельства уменьшают устойчивость процесса сварки.

Применение мягких режимов с относительно малой плотностью тока усиливает отвод теплоты в электроды и смещение ядра. Увеличивается деформация тонкой детали. Применение жестких режимов повышает и без того высокую плотность тока на периферии: резко возрастает склонность к выплескам (внутренним и даже выходящим под электрод), ядро приобретает специфическую форму.

Перечисленные трудности проявляются уже при относительно небольшой разнице в толщине, однако смещение ядра и деформации при этом еще не велики.

Увеличение различия в толщине деталей (более 1 : 3 для сталей и 1 : 2 для алюминиевых сплавов) ставит перед технологом серьезную проблему увеличения устойчивости процесса.

Для предотвращения смещения ядра внутрь толстой детали, а также для устойчивого проплавления тонкой детали разработано много способов. Все они направлены на повышение температуры нагрева тонкой детали. Некоторые преимущественно усиливают тепловыделение в ней (и в контакте деталей), другие в основном

уменьшают отвод теплоты. Наибольший эффект достигается при комплексном воздействии обоих факторов.

Способы, основанные на усилении тепловыделения, используют обычно более жесткие режимы. К таким способам относят применение рельефов, прокладок, специальных электродов, искусственное сжатие линий тока магнитным полем. Способы, основанные на изменении схемы отвода теплоты, используют обычно мягкие режимы. К таким способам можно отнести изменение размеров контактной поверхности электрода и применение электродных металлов с меньшей теплопроводностью, использование тепловых экранов.

Рельефы на тонкой или толстой деталях позволяют перераспределить плотность тока. В контакте деталь — деталь плотность тока резко увеличивается (за счет малой площади касания рельефа) и мало изменяется в процессе сварки. Концентрация теплоты в контакте и тонкой детали возрастает. Иногда вместо выштампованных рельефов применяют так называемые вводимые рельефы в виде шайб, шариков и т. п.

Размещение в контакте деталей прокладок из металлов с более высоким удельным сопротивлением позволяет при относительно малых плотностях тока получить надежное проплавление тонкой детали.

В качестве таких прокладок можно использовать фольгу (например, из сплава АМц1 с высоким удельным сопротивлением, почти в 2 раза большим, чем у сплава АМг6), плакирующие слои на листах и трубах. Температура в тонкой детали растет не только из-за большого сопротивления самих прокладок, но и добавочного контактного сопротивления между прокладкой и деталями.

Для повышения плотности тока со стороны тонкой детали иногда устанавливают электроды с кольцевой проточкой, искусственно сужающей токовые линии вблизи рабочей поверхности электрода.

Увеличить плотность тока можно запрессовкой в электрод (со стороны тонкой детали) кольца из материалов с малой электропроводностью. Это приводит к искусственному сжатию линий тока на рабочей поверхности электродов. Такая конструкция электрода позволяет одновременно несколько уменьшить деформацию тонкой детали. Однако эксплуатация электродов затруднена, так как должны выдерживаться жесткие допуски по высоте этих колец относительно рабочей поверхности электрода. Кроме того, износ центральной части создает дополнительные трудности (меняется исходное распределение усилий и устойчивость процесса).

Известны попытки фокусировать линии электрического тока за счет взаимодействия сварочного тока с его собственным магнитным полем. Для этого магнитное поле со стороны тонкой детали усили-

вают путем размещения вокруг электрода ферромагнитных сердечников, вставок или других устройств.

Чаще всего применяют электроды с разной площадью рабочей поверхности. Различие в площади контактов электродов позволяет уменьшить отвод теплоты от тонкой детали и увеличить — от толстой, т. е. получить необходимый градиент температур в тонкой детали. Чем выше тепло- и электропроводность свариваемых металлов, тем больше должно быть различие в площади электродов.

Иногда со стороны тонкой детали устанавливают электрод из металла с меньшей теплопроводностью, чем со стороны толстой. Чем больше разница в толщине, тем меньшей теплопроводностью должен обладать этот металл. Применение электродов с малой теплопроводностью позволяет в большинстве случаев не только предотвратить смещение ядра, но и получить выпуклую изотерму  $T_{пл}$  в тонкой детали, т. е. ее надежное проплавление.

Тепловые экраны, помещаемые между тонкой деталью и электродом, служат преградой на пути отвода теплоты в электрод. Экраны, как правило, изготавливают из металлов с низкой теплопроводностью толщиной 0,05... 0,15 мм. Регулируя толщину экранов и выбирая металл с необходимыми свойствами для их изготовления, можно смещать зону расплавления в широких пределах: от устойчивого формирования ядра в контакте до сквозного проплавления тонкой детали.

Экраны выполняют сменными или остающимися. Сменные экраны допускают многократное использование, их изготавливают из более тугоплавких металлов, чем сами детали, и применяют в виде ленты, сматываемой на барабаны. Остающиеся экраны предполагают не только сквозное проплавление тонкой детали, но обязательно хотя бы частичное подплавление экрана. По существу этот случай представляет собой сварку деталей тройной толщины с надежным проплавлением средней (тонкой).

Для повышения сопротивления деформации тонкой детали с ее стороны устанавливают электроды со сферической формой рабочей поверхности. Глубина вмятины и зазоры несколько уменьшаются. Однако наиболее эффективным средством является дополнительное регулируемое сжатие периферии сварной точки при помощи специальных электродов.

## Подготовка деталей к сварке и сборка

При подготовке поверхностей к любому виду контактной сварки, в том числе и точечной, должны выполняться три основных требо-



вания: в контактах электрод — деталь должно быть обеспечено как можно меньшее сопротивление, в контакте деталь — деталь сопротивление должно быть одинаковым по всей площади контакта. Сопрягаемые поверхности деталей должны быть ровными, плоскости их стыка при сварке должны совпадать.

Выбор конкретного способа подготовки поверхностей определяется материалом деталей, исходным состоянием их поверхностей, характером производства.

Для штучного и мелкосерийного производства необходимо предусмотреть операции правки, рихтовки, обезжиривания, травления или зачистки, механической обработки. В условиях крупносерийного и массового производства обеспечивается высокое качество исходных материалов в заготовительном и штампопрессовом производстве, поэтому подготовку поверхностей перед сваркой можно не производить. Исключения составляют детали из алюминиевых сплавов, поверхность которых необходимо обрабатывать не ранее чем за 10 ч до сварки.

Критерием качества подготовки поверхности является величина контактных сопротивлений  $R_{э-д}$  и  $R_{д-д}$ . Для их измерения детали зажимают между электродами контактной машины, но сварочный ток не включают.

Сопротивление измеряют микроомметром при помощи щупов. Для сталей сопротивление более 200 мкОм свидетельствует о плохом качестве поверхности.

Высокое  $R_{э-д}$  приводит к перегреву электродов и подплавлению поверхности деталей, вследствие чего происходит наружный и внутренний выплеск металла и образуется чрезмерная вмятина под электродами.

Чтобы обеспечить точность, сборку деталей производят в приспособлениях: универсальных — в единичном и мелкосерийном производстве и специальных — в крупносерийном и массовом. Для фиксации деталей используют их технологические отверстия, выступы, рельефы.

Детали в приспособлениях прихватывают сваркой в нескольких точках и окончательно сваривают в свободном состоянии. Иногда в приспособлениях выполняют весь процесс сварки.

Приспособления должны обеспечивать свободный доступ электродов к месту прихватки и сварки, быстрое и надежное закрепление деталей, точность сборки и неизменность режима сварки.

Первые прихватки следует располагать в местах большой жесткости, остальные — в направлениях от середины к краям.

### Оборудование и материалы

Для выполнения работы используются следующие приборы, материалы и инструменты:

- машина для контактной точечной сварки;
- заготовки для сварки образцов;
- справочник для выбора параметров режима сварки;
- инструменты (ножовка, тиски, напильники);
- наждачная бумага;
- станок для приготовления шлифов;
- реактивы для выявления мак роструктуры сварных соединений углеродистых сталей и а люминиевых сплавов;
- бинокулярный микроскоп типа МБС-9.

### Последовательность выполнения работы

1. Выбрать параметры режима сварки образцов по справочнику.  
2. Установить выбранные параметры режима сварки на машине для контактной точечной сварки.

3. Произвести сварку пробного образца, определить диаметр ядра сварной точки и при необ ходимости произвести корректировку параметров режима сварки.

4. Произвести подготовку поверхности контрольного образца к контактной точечной сварке. Образцы из низкоуглеродистой стали зачистить наждачной бумагой. Образцы из алюминиевых сплавов до зачистки наждачной бумагой подвергнуть травлению в ще лочи (гидроксид натрия (едкий натр)) и осветлению в 30%-ном растворе азотной кислоты.

5. Выполнить сварку контрольного образца.

6. Разметить сваренный образец для изготовления шлифа так, чтобы линия ре за ножовкой была смещена относите льно центра сварной точки на ширину реза.

7. Произвести разрезание сварного образца по разметке.

8. Обработать поверхность реза напильником и затем на станке для изготовления шлифов.

9. Произвести травление поверхности шлифа реактивом для низкоуглеродистой стали (10%-ным раствором персульфата аммония (надсернистого аммония)). При травлении поверхность шлифа протереть ватным тампоном, смоченным в растворе, до выявления макроструктуры. При подогреве раствора до 40 °С качество травления улучшается.

10. Пункты 4—9 повторить для сварки образцов неравной толщины.

## Содержание отчета

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующие основные сведения и результаты.

1. Название и цель работы.
2. Характеристики материалов и размеры свариваемых образцов.
3. Выбранные параметры режима сварки.
4. Параметры режима сварки после корректировки.
5. Эскизы макрошлифов сечений образцов с указанием конфигурации зоны ядра и его расположения относительно поверхности контакта свариваемых образцов. На эскизах необходимо указать диаметр литого ядра и расстояние от поверхности свариваемых образцов до литой зоны ядра по оси расположения электродов машины для контактной точечной сварки.
6. Выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Дайте определение контактной точечной сварки.
2. В чем заключаются достоинства контактной точечной сварки?
3. Охарактеризуйте этапы формирования соединений при контактной точечной сварке.
4. Как подготавливают детали к контактной точечной сварке?
5. Какие параметры присущи режиму контактной точечной сварки?
6. Почему в зоне контакта деталей выделяется тепловая энергия?
7. Что представляют собой жесткий и мягкий режимы контактной точечной сварки?

# ВЫБОР РЕЖИМОВ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Цель работы — научиться выбирать по справочным данным параметры режима контактной точечной сварки, устанавливать выбранные параметры на машине для контактной точечной сварки и анализировать влияние изменения параметров режима на качество сварки.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Основные сведения

Режим контактной точечной сварки характеризуется совокупностью следующих параметров:

- силы сварочного тока  $I_{св}$ , кА;
- длительности протекания сварочного тока  $t_{св}$ , с;
- усилия сжатия  $P_{сж}$ , кН;
- ковочного усилия  $P_{к}$ , кН;
- диаметра рабочей поверхности электрода  $d_э$ , мм.

При сварке с несколькими импульсами сварочного тока задаются число импульсов и длительность каждого импульса.

Режим сварки данного соединения устанавливается по таблицам; исходными данными являются физические и механические свойства и толщина свариваемых металлов. Корректируют выбранный режим после сварки и испытаний образцов.

В процессе сварки изделий режим меняется, поэтому параметры режима регулируют, а диаметр рабочей поверхности электродов зачисткой и заточкой приводят к первоначальному значению.

При контактной точечной сварке применяют как жесткие режимы с большой силой сварочного тока и малой длительностью его протекания, так и мягкие с малой силой сварочного тока и большой длительностью его протекания.

Сила сварочного тока  $I_{св}$  зависит от толщины свариваемого металла. Для сварки деталей из низкоуглеродистых сталей на машинах переменного тока среднее значение сварочного тока получают из эмпирической формулы

$$I_{св} = 6\,500\delta,$$

где  $\delta$  — толщина одного листа, мм.

Длительность протекания тока  $t_{св}$  зависит от толщины свариваемых деталей, а также от теплофизических и механических свойств металла. Длительность протекания тока может быть получена из эмпирических зависимостей:

- для низкоуглеродистых и низколегированных сталей  $t_{св} = (0,2 \dots 0,4)\delta$ ;
- коррозионно-стойких сталей  $t_{св} = (0,1 \dots 0,15)\delta$ ;
- для сплавов АМг и АМц  $t_{св} = (0,15 \dots 0,2)\delta$ ;
- для сплавов типа Д16, В95  $t_{св} = (0,08 \dots 0,12)\delta$ .

При сварке низкоуглеродистых сталей значительной толщины на машинах небольшой мощности длительность импульса сварочного тока достигает иногда 1,5 с и даже 3 с. При сварке с термообработкой длительность протекания тока больше длительности импульса сварочного тока.

Усилие сжатия электродов зависит от толщины свариваемых деталей и механических свойств металла. Усилие сжатия задается удельным давлением  $p$  (например, для низкоуглеродистых сталей  $p = 50 \dots 120$  МПа, для коррозионно-стойкой стали и титановых сплавов  $p = 90 \dots 180$  МПа).

Сварка металлов толщиной (3 + 3) мм и более выполняется с проковкой. Для металлов, склонных к образованию трещин, проковку применяют при толщине (1 + 1) мм и более. Величина ковочного усилия в 2—3 раза больше усилия сжатия при сварке. Большое значение имеет момент приложения ковочного усилия: сильно запаздывающее ковочное усилие не может устранить дефекты в уже закристаллизовавшейся сварной точке; слишком раннее начало проковки может вызвать непровар. Поэтому небольшое запаздывание  $t_k$  момента приложения ковочного усилия контролируется; оно составляет при сварке металлов малых толщин на конденсаторных машинах 0,002 ... 0,005 с, при сварке на других машинах — 0,02 ... 0,18 с.

Сварку деталей толщиной более (5 + 5) мм, а также имеющих повышенную жесткость, желательно выполнять с пре дварительным обжатием для уменьшения зазо ров, оставшихся после сборки, и стабилизации величины контактного сопротивления.

Для контактной точечной сварки применяют электроды с плоской или сферической рабочей поверхностью; последние используют преимущественно для сварки легированных сталей и алюминиевых сплавов. Приблизленно считают диаметр рабо чей поверхности электрода равным диаметру точки. Для сварки дета лей из низкоуглеродистых сталей  $d_э = 2\delta + 3$  мм (при толщине металла  $\delta < 3$  мм) и  $d_э = 1,5\delta + 5$  мм (при  $\delta > 3$  мм). Р адиус сферической поверхности электрода составляет (для сварки алюминиевых сплавов) 50 мм. При сварке разнородных металлов или металлов неравной толщины электрод с бóльшим диаметром или бóльшим радиусом сферы устанавливается со стороны более толстой детали или со стороны металла с бóльшим удельным сопротивлением.

Наличие расположенных близко к зоне с соединения электрических контактов, например при дв ухсторонней сварке ранее сваренных точек, может привести к тому, что часть тока будет проходить (шунтироваться) через эти контакты. Силу тока шунтирования  $I_{ш}$  можно определить по формуле

$$I_{ш} = I_2 R_{св} / R_{ш}, \quad (2.1)$$

где  $I_2$  — сила тока во вторичном контуре;  $R_{св}$  и  $R_{ш}$  — соответственно активные сопротивления свариваемых деталей и шунта (предыдущей точки);  $R_{св} = R_A + R_{A-А}$ .

Шунтирование проявляется в снижении плотности тока в зоне, обращенной к шунтирующему контакту (рис. 2.1). Это приводит к уменьшению тепловыделения в зоне сварки и размеров ядра. Однако отношение  $R_{св} / R_{ш}$  велико, а  $I_{ш}$  значительна лишь при соединении «холодных» деталей. Протекание тока через детали вызывает нагрев шунтирующей ветви и рост  $R_{ш}$ , с одной стороны, и снижение  $R_{св}$  — с другой, что приводит к уменьшению  $R_{св} / R_{ш}$  и  $I_{ш}$ . При этом основная часть тока уже проходит через зону сварки.

Значение шунтирования возрастает при уменьшении расстояния (шага) между точками. В соответствии с характером распределения плотности тока при малом шаге, меньшем диаметра ядра предыдущей точки, сечение ядра в плане от личается по форме от круга. В частности, ширина ядра заметно больше его длины. К роме того, ядро вытянуто в сторону сварки (от предыдущей точки). С ростом толщины деталей и уменьшением удельного сопротивления металла роль шунтирования возрастает.

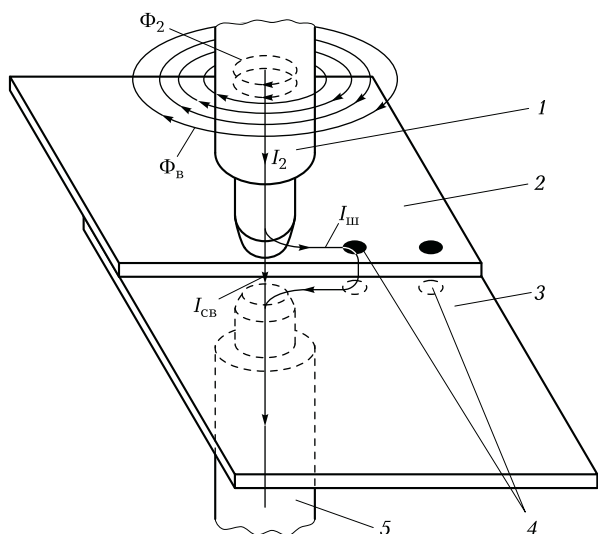


Рис. 2.1. Распределение токов при шунтировании в многоточечном соединении:

1 — верхний электрод; 2, 3 — свариваемые детали; 4 — сварные точки; 5 — нижний электрод;  $\Phi_2$  — магнитный поток во вторичном контуре;  $\Phi_в$  — внешний магнитный поток;  $I_2$  — ток во вторичном контуре;  $I_{св}$  — сварочный ток;  $I_{ш}$  — ток шунтирования

В случае сварки плотными швами может показаться, что роль шунтирования должна быть велика. Тем не менее отличие в значениях силы тока при точечной и шовной сварке деталей одной и той же толщины не превышает 15 %. Это объясняется повышенным теплосодержанием металла при шовной сварке за счет теплопередачи от предыдущих точек и интенсивной деформацией металла впереди дискового электрода (ролика) в контакте деталь—деталь, что приводит к быстрому снижению сопротивлений  $R_{ш}$  и  $R_{св}$ . Электрическое поле при этом в значительной степени подобно полю в целой пластине. Однако на шлифах соединений часто наблюдается заметное различие между размерами первой и последующих точек шва.

Это обусловлено не только шунтированием тока, но и рядом других причин, вызывающих увеличение площади контактов и дополнительное снижение плотности тока в зоне сварки последующих точек шва. Площадь контактов может увеличиваться как за счет интенсивной деформации металла впереди роликов, так и в результате того, что дисковый электрод при перемещении на очередной шаг не выходит за пределы вмятины, образовавшейся при сварке предыдущей точки.

## Выбор и установка параметров режима контактной точечной сварки на машине

Параметры режима контактной точечной сварки можно определять расчетным методом, экспериментальным путем при сварке образцов и по справочным данным. В данной работе параметры режимов сварки выбираются по справочным данным в зависимости от типа материала и его толщины. По справочнику определяются технологические параметры режима сварки  $I_{св}$ ,  $t_{св}$ ,  $P_{сж}$ ,  $d_3$ . Конструктивные элементы сварного соединения ( $d_3$ , минимальный шаг между точками, величина нахлестки) определяются по ГОСТ 15878—79 «Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры». После выбора параметры режима устанавливаются на машине.

Установка времени сварки производится на регуляторе цикла сварки. Для установки усилия сжатия нужно выбрать необходимую величину давления сжатого воздуха. Усилие сжатия в зависимости от давления воздуха приведено в таблице, прикрепленной к корпусу машины, или в ее паспорте. Установка необходимого давления сжатого воздуха производится редуктором по показаниям манометра.

Силу сварочного тока на машине можно установить приближенно, так как машины не содержат измерителей тока. Выбор ступени, которая обеспечит получение нужной силы сварочного тока, можно провести по следующей методике.

При условии постоянства на всех ступенях сопротивления вторичного контура с деталями сила сварочного тока будет пропорциональна напряжению ступени  $U_{20}$ .

Номинальной ступенью машины является предпоследняя ступень. Номинальное значение тока указано в обозначении марки машины, напряжение номинальной ступени определяется по коэффициенту трансформации данной ступени и напряжению сети. Вначале, зная  $(I_{св})_{ном}$ ,  $I_{св}$ ,  $(U_{20})_{ном, ступ}$ , находят требуемое напряжение промежуточной ступени  $((U_{20})_{промеж. ступ})$ .

Затем для найденного напряжения ступени находят коэффициент трансформации и устанавливают на машине ступень с ближайшим меньшим по сравнению с найденным коэффициентом. При этом на выбранной ступени значение силы тока будет превышать значение, выбранное по справочнику. Далее находят силу сварочного тока для выбранной ступени, зная  $(I_{св})_{ном}$ ,  $(U_{20})_{ном, ступ}$  и  $(U_{20})_{промеж. ступ}$ . Полученную силу тока уменьшают плавным поворотом ручки регулятора цикла сварки до нужного значения.



Оптимальность установленных параметров режима определяют по качеству сварного соединения. Для этого сваривают об разец и точку разрушают кручением. Если сварка выполнена качественно, а толщина образца менее 1,5 мм, то при разрушении точка, как правило, вырывается из основного металла, образуя отверстие в одной пластине и круглый «пяточок» на другой, диаметр которого примерно равен диаметру ядра точки. Если диаметр ядра соответствует ГОСТ 15878—79, то параметры режима сварки считают оптимальными.

При малом диаметре ядра необходимо корректировать параметры режима, пока ядро не достигнет нужного размера.

## Определение механических свойств соединений, выполненных контактной точечной сваркой

Качество сварного соединения оценивается комплексом показателей, в число которых входят механические свойства. По ГОСТ 6996—66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств» сварные соединения, выполненные контактной точечной сваркой, испытывают на срез (рис. 2.2, а) или на отрыв (рис. 2.2, б) путем растяжения образцов следующих размеров:

<i>Толщина образца, мм</i>	<i>Ширина образца, мм</i>
До 1 .....	20
Более 1 до 2 .....	25
Более 2 до 3 .....	30

При испытании определяют разрушающую нагрузку на точку в ньютонах. При испытании образцы типа XXI (см. рис. 2.2, б) закрепляют в специальном приспособлении для устранения их изгиба. При испытании на срез разрушающая нагрузка в 1,5—2 раза больше, чем при испытании на отрыв.

## Влияние основных параметров режима контактной точечной сварки на качество сварного соединения

Параметры режима контактной точечной сварки ( $I_{св}$ ,  $t_{св}$ ,  $P_{сж}$ ,  $d_э$ ) определяют характер тепловыделения, размеры и структуру ядра точки и зоны термического влияния и, следовательно, механические свойства сварного соединения.

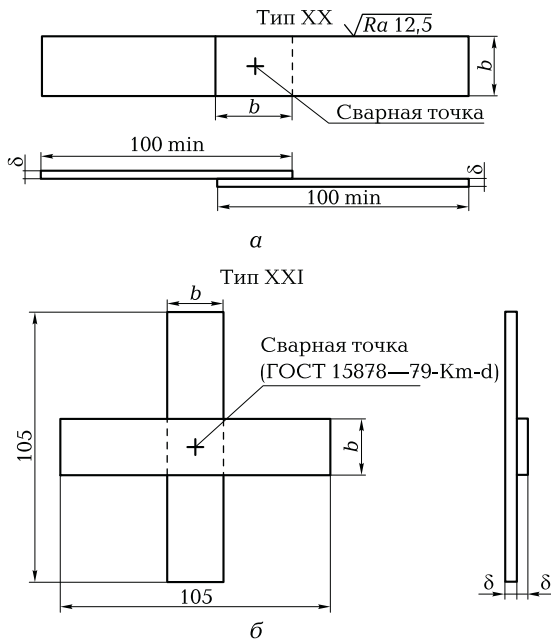


Рис. 2.2. Образцы для механических испытаний контактной точечной сварки:  
*a* — на срез; *б* — на отрыв; *b*,  $\delta$  — ширина и толщина образца

Рассмотрим влияние времени сварки на разр ушающее усилие, которое нужно приложить, чтобы разрушить сварную точку (рис. 2.3, *a*). При  $t_{\text{св}} < t_1$  никакого соединения не образуется из-за малого тепловыделения. При  $t_1 < t_{\text{св}} < t_2$  на участке *AB* также из-за недостаточного тепловыделения образуется соединение типа «склейки» без литого ядра. Данное соединение имеет большое изменение прочности при малых изменениях времени сварки и совершенно не выдерживает переменных нагрузок. При  $t_2 < t_{\text{св}} < t_4$  на участке *BC* образуется литое ядро, к которое растет по мере увеличения времени сварки. С ростом ядра растет разрушающее усилие. Наклон кривой на участке *BC* более пологий, т. е. колебание времени сварки из-за разных возмущений будет вызывать меньшее изменение прочности точки, чем на участке *AB*. При  $t_{\text{св}} = t_4$  ядро достигает наибольших размеров, а разрушающее усилие — наибольшей величины. Однако время  $t_4$  нельзя считать оптимальным, так как оно относится к мягким режимам, связано с сильным износом электродов и большими затратами энергии. Оптимальным будет промежуточное время  $t_3$ , при

котором прочность снижается не существенно, но значительно снижаются затраты энергии и повышается стойкость электродов из-за меньшего перегрева. При  $t_{св} > t_4$  начинается снижение прочности из-за перегрева металла в зоне термического влияния и увеличения глубины вмятины от электродов.

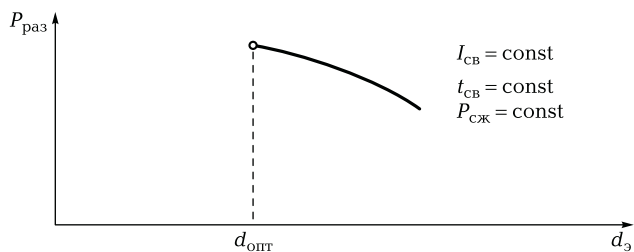
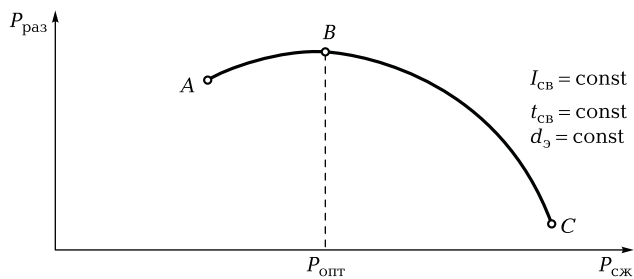
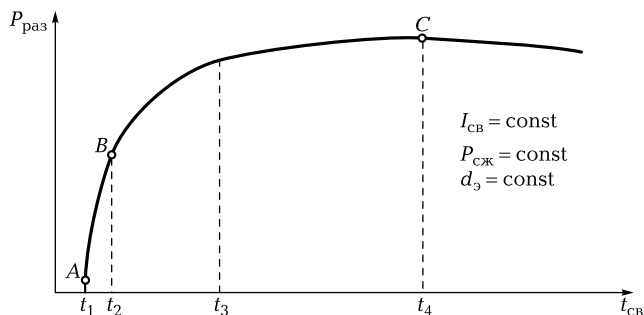


Рис. 2.3. Зависимость разрушающего усилия  $P_{раз}$ , прикладываемого к сварной точке от времени сварки  $t_{св}$  (а), усилия сжатия  $P_{сж}$  (б) и диаметра рабочей поверхности электрода  $d_з$  (в):

$P_{опт}$ ,  $d_{опт}$  — оптимальные значения усилия и диаметра электрода;  $I_{св}$  — сила сварочного тока

На пологом, почти горизонтальном участке кривой, несмотря на значительное возрастание выделяющейся теплоты, определяемое большим временем сварки, прочность соединения, а следовательно, диаметр ядра точки, перестают увеличиваться. Это объясняется достижением состояния, при котором дополнительно выделяющаяся теплота отводится в электроды.

Данная закономерность следует из закона теплопроводности Фурье:

$$\bar{q} = -\lambda \text{grad } T, \quad (2.2)$$

где  $\bar{q}$  — вектор плотности теплового потока;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала деталей;  $\text{grad } T$  — градиент температуры по направлению от границ ядра к электродам.

С ростом проплавления границы ядра приближаются к поверхностям электродов, что вызывает значительное возрастание градиента температуры и, следовательно, увеличение отвода теплоты в электроды. Зависимость разрушающего усилия точки от силы сварочного тока аналогична зависимости от времени сварки.

Влияние усилия сжатия электродов на разрушающее усилие, прикладываемое к сварной точке, неоднозначно (рис. 2.3, б). При оптимальном усилии сжатия достигается наибольшее разрушающее усилие точки.

На участке *BC* с ростом  $P_{\text{сж}}$  снижается контактное сопротивление между деталями и выделение теплоты и значительно повышается теплоотвод к электродам. Данные факторы приводят к уменьшению диаметра ядра точки и падению ее прочности.

При уменьшении  $P_{\text{сж}}$  по сравнению с оптимальным значением растет контактное сопротивление между деталями, увеличивается выделение теплоты и снижается теплоотвод к электродам, что приводит к росту ядра и его выходу за пределы зоны уплотняющего пояса, следствием чего является выплеск и снижение прочности точки.

Влияние размера рабочей поверхности электрода на прочность точки связано с изменением плотности тока (рис. 2.3, в). С ростом  $d$  снижается плотность тока в контакте между деталями, уменьшается удельное выделение теплоты и диаметр ядра.

Кроме указанных параметров на прочность точки влияет величина шага. При уменьшении шага между точками возрастает ток шунтирования, снижается сила тока, протекающего через зону сварки ( $I_{\text{св}}$ ), уменьшается диаметр ядра и падает прочность точки, поэтому в ГОСТ 15878 — 79 ограничено минимальное значение шага в зависимости от толщины металла.

## Оборудование и материалы

Для выполнения работы используются следующие приборы и материалы:

- машина для контактной точечной сварки;
- заготовки для сварки образцов;
- справочник для выбора параметров режима сварки;
- машина для испытаний на прочность.

## Последовательность выполнения работы

1. Выбрать параметры режима сварки образцов.
2. Установить выбранные параметры режима сварки на машине.
3. Произвести сварку пробного образца, определить диаметр ядра точки и при необходимости произвести корректировку параметров режима сварки.
4. Сварить образцы, изменяя время сварки по заданной программе, и испытать их на срез (см. рис. 2.2, а).
5. Сварить образцы, изменяя усилие сжатия по заданной программе, и испытать их на разрыв (см. рис. 2.2, б).
6. Сварить образцы двумя точками, изменяя шаг между точками, и испытать их на срез.

## Содержание отчета

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующие основные сведения и результаты.

1. Название и цель работы.
2. Характеристики материалов, размеры образцов и выбранные параметры режима сварки.
3. Параметры режима сварки после корректировки.
4. Эскизы образцов с указанием схемы их испытания.
5. Таблицы с результатами проведенных экспериментов.
6. Графики зависимостей  $P_{\text{раз}} = f_1(t_{\text{св}})$ ,  $P_{\text{раз}} = f_2(P_{\text{сж}})$ .
7. Выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Как выбираются параметры режима контактной точечной сварки?
2. Как на машине устанавливаются нужные значения времени сварки, предварительного сжатия и проковки?
3. Как на машине устанавливается нужное значение усилия сжатия?
4. Как на машине выбирается нужная ступень для сварки?
5. Как можно регулировать силу сварочного тока в пределах ступени?
6. На каких образцах испытываются механические свойства сварных соединений, выполненных контактной точечной сваркой?
7. Какие схемы нагружения используют для испытания образцов, соединенных контактной точечной сваркой?
8. Какую величину определяют при механических испытаниях образцов сварных соединений, выполненных контактной точечной сваркой?
9. Какие исследования были проведены в данной работе?
10. При каком условии можно определить влияние только данного параметра режима на качество сварного соединения?
11. Объясните поведение зависимости  $P_{\text{раз}} = f_1(t_{\text{св}})$ .
12. Объясните поведение зависимости  $P_{\text{раз}} = f_2(P_{\text{сж}})$ .
13. Какие дефекты могут образоваться в сварном соединении в результате неправильного выбора следующих параметров:  $P_{\text{сж}}$ ,  $t_{\text{св}}$ ,  $I_{\text{св}}$ ,  $d_{\text{э}}$ , шага между сварными точками?
14. При каком режиме электроды сохраняют более высокую стойкость и почему?
15. По циклограмме контактной точечной сварки объясните, какое влияние на качество сварки может оказать выбор минимального времени предварительного сжатия и проковки.

# ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ ШОВНОЙ СВАРКЕ

Целью работы является изучение характера формирования соединения при контактной шовной сварке деталей равной и неравной толщины.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Образование сварного соединения при контактной шовной сварке

Соединение, выполненное контактной шовной сваркой, представляет собой ряд сварных точек, в котором последующая точка перекрывает предыдущую. Размеры точки определяются шириной или радиусом закругления рабочей части дискового электрода (ролика) и скоростью перемещения детали. Обычно точка имеет удлиненную форму.

Схема процесса контактной шовной сварки показана на рис. 3.1. Величины шага точек  $a$  и диаметра точки  $d$  связаны определенной зависимостью: для получения плотного шва  $a = (0,5 \dots 0,6)d$ ; при  $a > d$  шов получается неплотным (рис. 3.2,  $a$ ).

Форма ядра сварной точки при контактной шовной сварке как видно из рис. 3.2,  $b$ , ощутимо отличается от формы ядра единичной сварной точки. При вращении диска этого электрода под током получается своеобразный эффект шунтирования, когда ток как бы непрерывно тянется к только что созданной им отдельной точке. Распределение тока по свариваемой детали для структурной картины, представленной на рис. 3.2,  $a$ , показано эпюрой на рис. 3.3,  $a$ . Общая сила тока здесь разделена на силу сварочного тока  $I_{св}$  и силу

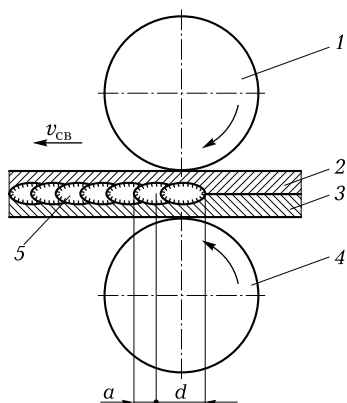


Рис. 3.1. Схема процесса контактной шовной сварки:

- 1 — верхний дисковый электрод;
- 2, 3 — свариваемые детали;
- 4 — нижний дисковый электрод;
- 5 — шов;  $v_{св}$  — скорость сварки;  $a$  — шаг сварных точек;  $d$  — диаметр сварной точки

тока шунтирования  $I_{ш}$ . Эффект концентрации этих токов на концевых участках их коммутации подчеркнут некоторыми пиковыми значениями.

Если для непрерывного вращения диск овых электродов рационально сочетать время включения  $t_{ш}$  и время паузы между включениями, то обеспечивается перекрытие предшествующей точки любого размера каждой последующей. Этот самый распространенный цикл шовной сварки показан на рис. 3.3, б. На нем эю ры токов представлены к моменту выключения сварочного импульса после расплавления второй точки.

Самым основным типом шовно-сварного с соединения является нахлесточный шов (рис. 3.4). Его форма свидетельствует о крайней ограниченности толщин деталей, свариваемых таким способом.

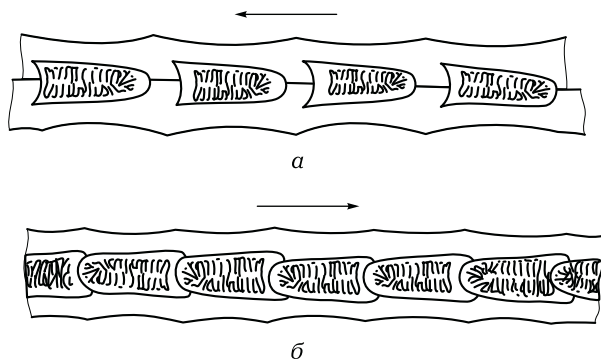


Рис. 3.2. Схема структуры шовно-сварного соединения:

- а — неплотный шов; б — плотный шов



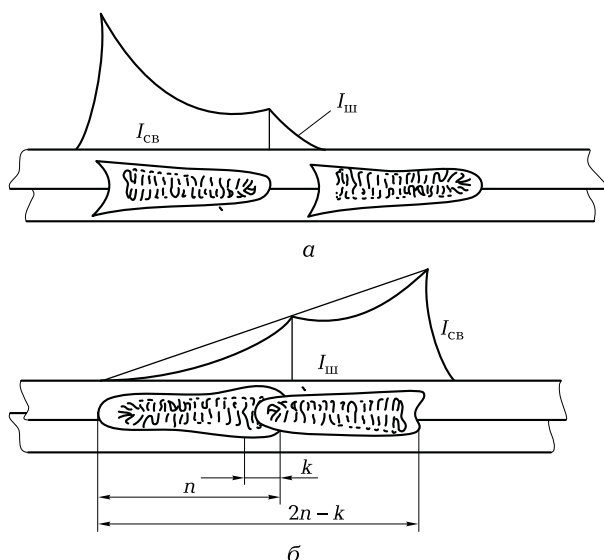
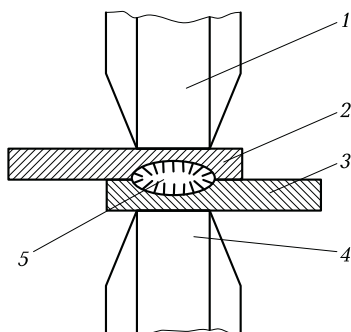


Рис. 3.3. Распределение тока по свариваемым деталям для неплотного [а] и плотного [б] шва:  
 $I_{св}$  — сварочный ток;  $I_{ш}$  — ток шунтирования;  $n$  — длина ядра в направлении сварки;  $k$  — перекрытие ядер

Чаще всего шовной сваркой соединяют детали толщиной от 0,5 до 2 мм; предельно допустимая толщина в этом случае составляет 3 мм, в основном не в виде нахлесточных, а в виде шовно-стыковых соединений. Такого рода ограничение следует из элементарных прочностных соображений. Нахлесточные соединения даже толщиной 2 мм по прочностным свойствам не могут конкурировать с соединениями стыковыми, которые можно получить аргонодуговой, плазменной

Рис. 3.4. Типовое шовно-сварное соединение (нахлесточный шов):  
 1 — верхний дисковый электрод;  
 2, 3 — свариваемые детали;  
 4 — нижний дисковый электрод;  
 5 — сварной шов



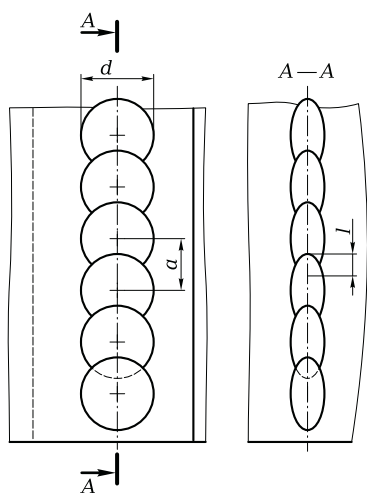


Рис. 3.5. Конструктивные элементы соединений, выполненных контактной шовной сваркой:  
 $d$  — ширина шва;  $l$  — перекрытие сварных точек;  $a$  — шаг сварных точек

или даже дуговой сваркой в атмосфере  $\text{CO}_2$ . Металл толщиной 2...3 мм подвергается контактной шовной сварке главным образом для создания конструкций, обязанных гарантировать высшую плотность, но не прочность, сравнимую с прочностью основного металла.

При соотношении толщин свариваемых деталей более 2 : 1 формирование шва ухудшается.

Конструктивные элементы соединений, выполняемых контактной шовной сваркой, установлены ГОСТ 15878—79; они приведены на рис. 3.5 и в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Конструктивные элементы соединений, выполняемых контактной шовной сваркой

Толщина свариваемых деталей, мм	Ширина шва $d$ , мм	Предельное отклонение $\Delta d$ , мм	Шаг точек $a$ , мм	Величина перекрытия $l$ , мм
0,3	2,5	+1	6	3
0,4...0,6	3,5		7	3,5
0,7...0,8	4		10	5
0,9...1,1	4,5		12	6
1,2...1,4	5		13	6,5
1,5...1,6	6		14	7
1,8...2,2	7	+1,5	15	7,5
2,5...2,8	7,5		18	9
3	8		20	10

## Подготовка деталей к контактной шовной сварке

Подготовка деталей к контактной шовной сварке производится так же, как и к точечной. Более жесткие требования предъявляются к очистке поверхности металла (плохая очистка увеличивает шунтирование, что снижает качество соединения). Не допускаются большие зазоры, ведущие к прожогам и продавливанию нагретого металла.

Шаг прихватки составляет от 70 до 150 мм. Для выполнения герметичных швов шаг прихватки уменьшают до 40...60 мм. Прихватку ведут по осевой линии шва; прихватка в стороне от шва допускается, если сварные изделия не несут вибрационной нагрузки. Подгонку и правку выполняют для устранения зазоров, неплотностей, сохранения постоянной величины нахлестки и отбортовки.

## Параметры режима контактной шовной сварки

Параметрами режима контактной шовной сварки являются:

- сила сварочного тока  $I_{св}$ , кА;
- длительность импульса  $t_{св}$ , с;
- скорость сварки  $v_{св}$ , м/мин;
- диаметр дискового электрода (ролика)  $D_э$  и ширина его рабочей поверхности  $b_э$  или радиус закругления  $R_э$ , мм;
- усилие сжатия электродов  $P_{сж}$ , Н.

Величины параметров режима связаны между собой. При контактной шовной сварке применяют мягкие и жесткие режимы.

Силу сварочного тока выбирают в зависимости от вида и толщины свариваемого металла и скорости сварки. При одном и том же свариваемом металле сила тока для шовной сварки на 20...50 % выше, чем для точечной. Низкоуглеродистые стали сваривают в широком диапазоне силы сварочного тока — от 8 до 24 кА; закаливающиеся низколегированные стали — на пониженной силе тока — до 20 кА; еще меньшую силу тока применяют для сварки аустенитных коррозионно-стойких сталей — от 4 до 18 кА.

При выполнении продольных швов на изделиях из ферромагнитных сталей сила тока значительно меняется: по мере введения детали в сварочный контур ток уменьшается и в конце сварки становится недостаточным для полного провара. Частично это затруднение

устраняют сваркой с двух сторон, сваркой участками при разных токах или регулировкой тока в процессе сварки.

Длительности импульсов тока, паузы между ними и их соотношения зависят от рода свариваемого металла, силы сварочного тока и скорости сварки. Применяют следующие ориентировочные соотношения между длительностями импульса  $t_{св}$  и паузы  $t_{п}$ :

- для низкоуглеродистой и коррозионно-стойких сталей  $t_{п} = (1 \dots 1,2)t_{св}$ ;
- для закаливаемых сталей  $t_{п} = (0,5 \dots 0,8)t_{св}$ ;
- для алюминиевых сплавов  $t_{п} = (1,5 \dots 2)t_{св}$ .

Низкоуглеродистая сталь с защитными покрытиями сваривается на жестких режимах (для сохранения покрытия). Для поддержания покрытия в расплавленном состоянии до образования каждой точки устанавливается малая длительность паузы, например для оцинкованной стали  $t_{п} = (0,25 \dots 0,3)t_{св}$ .

Длительности импульса тока и паузы для сварки на машинах переменного тока должны быть кратными периоду тока промышленной частоты (0,02 с).

Усилие сжатия дисковых электродов выбирают в зависимости от тех же условий, что и при контактной точечной сварке. Величина усилия сжатия ограничивается конструкцией и стойкостью дисковых электродов (роликов) и мощностью привода вращения. Для сварки низкоуглеродистой стали толщиной 1...3 мм устанавливается усилие сжатия 3 000...9 000 Н, аустенитной коррозионно-стойкой стали — 3 000...13 000 Н, алюминиевых сплавов — 3 500...7 000 Н.

Скорость сварки связана с величиной шага точек и длительностями импульса тока и паузы.

Скорость сварки большинства шовных машин находится в пределах 0,5...5 м/мин. В некоторых машинах ее нижний и верхний пределы составляют 0,2 и 10 м/мин. Скорость шовно-стыковой сварки труб достигает 15 м/мин.

**Таблица 3.2. Размеры дисковых электродов (роликов) в зависимости от толщины свариваемых деталей**

Толщина детали, мм	Размеры, мм		
	$S_3$	$b_3$	$R_3$
0,3	6	3	15...25
0,5	6	4	25...50
0,8	10	5	50...75

Толщина детали, мм	Размеры, мм		
	$S_3$	$b_3$	$R_3$
1	10	5	75... 100
1,2	12	6	75... 100
1,5	12	7	100... 150
2	15	8	100... 150
2,5	18	10	150... 200
3	20	10	150... 200

Размеры дисковых электродов (роликов) зависят от толщины свариваемого металла и конструкции деталей. Дисковые электроды диаметром 250... 300 мм хорошо охлаждаются; при диаметре дисковых электродов меньше 150 мм сильно возрастает их износ.

Размеры рабочей части дисковых электродов (толщины диска  $S_3$ , ширины рабочей поверхности  $b_3$  и радиуса закругления  $R_3$ ) приведены в табл. 3.2.

## Режимы контактной шовной сварки

Режим контактной шовной сварки подбирают по таблицам (табл. 3.3 и 3.4) и корректируют после испытания пробных образцов.

**Таблица 3.3. Режимы непрерывной контактной шовной сварки низкоуглеродистой стали**

Толщина детали, мм	Ширина рабочей поверхности электрода, мм	Усилие сжатия, Н	Скорость сварки, м/мин	Сила сварочного тока, А
0,2 + 0,2	4	800	1	2 500
0,5 + 0,5	5	1 000	1	3 000
1 + 1	5	1 200	1	3 500
0,2 + 0,2	4	800	1,5	3 000
0,5 + 0,5	5	1 000	1,5	3 500
1 + 1	5	1 200	1,5	5 000

Толщина детали, мм	Ширина рабочей поверхности электрода, мм	Усилие сжатия, Н	Скорость сварки, м/мин	Сила сварочного тока, А
0,2 + 0,2	4	800	2	3 500
0,5 + 0,5	5	1 000	2	4 500
1 + 1	5	1 200	2	7 000

Примечание. Нижний дисковый электрод во всех случаях имеет радиус закругления поверхности 250 мм.

**Таблица 3.4. Режимы прерывистой контактной шовной сварки низкоуглеродистой стали**

Толщина детали, мм	Ширина рабочей поверхности ролика, мм	Усилие сжатия, Н	Длительность импульса тока, с	Длительность паузы, с	Скорость сварки, м/мин	Сила сварочного тока, А
0,25 + 0,25	5	1 750	0,04	0,02	2	8 000
0,5 + 0,5	5	2 250	0,04	0,04	1,9	11 000
0,75 + 0,75	6	3 000	0,06	0,04	1,8	13 000
1 + 1	6	4 000	0,06	0,06	1,75	15 000
1,25 + 1,25	8,5	4 500	0,08	0,06	1,7	16 500
1,5 + 1,5	8,5	5 250	0,08	0,08	1,5	17 500
2 + 2	10	6 500	0,12	0,10	1,4	19 000

Контактную шовную сварку можно осуществлять при непрерывном и прерывистом включении сварочного тока. Непрерывное включение тока (рис. 3.6, а) позволяет резко повысить скорость сварки. Однако качество соединений и стойкость дисковых электродов снижаются. Наибольшее распространение получила сварка с включением тока отдельными импульсами (рис. 3.6, б, в). За время  $t_{\text{п}}$  паузы между импульсами электроды и детали успевают частично охладиться. Поэтому стойкость роликов возрастает, уменьшается ширина зоны термического влияния, снижаются остаточные деформации.

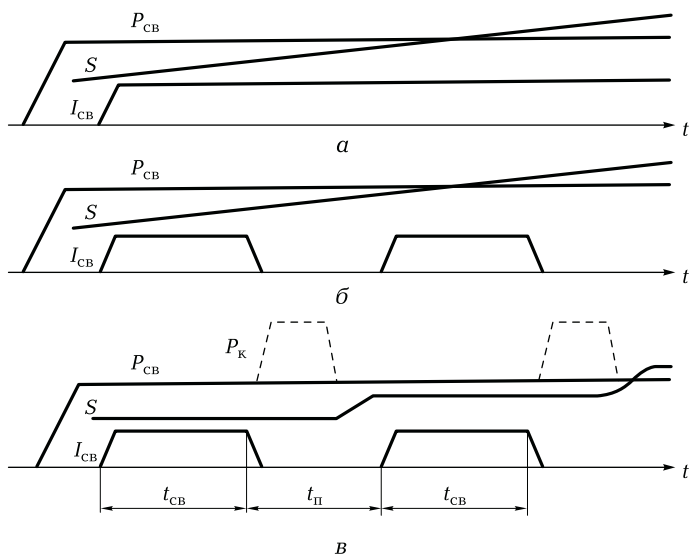


Рис. 3.6. Циклы контактной шовной сварки:

а — с непрерывным включением тока силой  $I_{св}$ , непрерывным вращением электродов  $S$  и постоянным усилием  $P_{св}$ ; б — с прерывистым включением тока силой  $I_{св}$ , непрерывным вращением электродов  $S$  и постоянным усилием  $P_{св}$ ; в — с прерывистым включением тока силой  $I_{св}$ , прерывистым (шаговым) вращением электродов  $S$  и постоянным или переменным усилием  $P_{св}$  (с проковкой);  $P_k$  — усилие проковки

Контактную шовную сварку чаще выполняют при непрерывном вращении дисковых электродов (см. рис. 3.6, б). Так сваривают стали, никелевые и титановые сплавы толщиной до (1,5+ 1,5) мм. Металлы 5—7-й групп Периодической системы элементов Д.И. Менделеева соединяют при шаговом вращении электродов (см. рис. 3.6, в). Остановка дисковых электродов в момент пропуска тока способствует более сильному охлаждению деталей и рабочей поверхности роликов. Стабилизируются контакты, снижается температура в контакте электрод—деталь. Уменьшается химическое взаимодействие металлов электрода и детали. Стойкость электродов возрастает. Повышается устойчивость размеров и качества точек. Кроме того, остановка дисковых электродов позволяет приложить ковочное усилие (см. рис. 3.6, в), необходимое для сварки деталей из алюминиевых и магниевых сплавов толщиной более (4 + 4) мм.

Сравнение режимов точечной и шовной сварки показывает, что сила тока при шовной сварке значительно больше (на 20... 60 %). Это объясняется сильным шунтированием тока ранее сваренными точ-

ками и более жестким режимом сварки. Из-за более широкой зоны нагрева сопротивление деформации уменьшается, появляется возможность сваривать детали без выплесков с уменьшенным значением  $t_{св}$ . Кроме того,  $t_{св}$  уменьшают для повышения скорости сварки. Удельное сварочное давление  $p$  при шовной сварке устанавливают примерно на уровне точечной. При сварке теплопроводных металлов (алюминиевых, магниевых сплавов)  $t_{п}$  увеличивают. Скорость сварки  $v_{св}$  зависит от  $t_{св}$  и  $t_{п}$ ; ее выбирают с учетом обеспечения данного шага между точками (перекрытия точек).

В процессе уточнения оптимального режима необходимо предотвращать появление наружных и внутренних дефектов. Для предотвращения появления наружных дефектов (наружных выплесков, искажения формы вмятины, наружных трещин и т. п.) необходимо тщательно обрабатывать весь технологический процесс: проводить качественную подготовку поверхности деталей, при сварке следить за отсутствием перекосов деталей относительно электродов, применять повышенные усилия сжатия электродов, интенсивно охлаждать и своевременно зачищать электроды, соблюдать правильную форму и размеры ядра.

Искажения формы отпечатков не происходит, если детали правильно собраны и прихвачены, установлены точно относительно оси электродов, рабочая поверхность электродов имеет правильную форму, смещение электродов при сварке минимально и одинаково, не возникает грубых внутренних дефектов (например, выплесков). Выходящие на поверхность трещины — следствие значительных нарушений технологического процесса; они обычно связаны с внутренними дефектами.

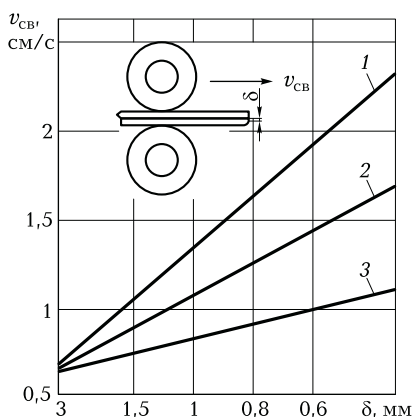


Рис. 3.7. Графики изменения линейной скорости шовной сварки в зависимости от толщины деталей и марки металла: 1 — сталь Ст3; 2 — титан; 3 — алюминиевый сплав АМг4;  $v_{св}$  — линейная скорость наложения шва;  $\delta$  — толщина свариваемой детали



## Расчет режимов контактной шовной сварки

Для контактной шовной сварки так же, как и для точечной, в результате многолетней производственной практики отработаны некоторые границы основных параметров режимов. Речь всегда идет о силе тока  $I_{св}$ , длительности импульса  $t_{св}$ , продолжительности паузы между импульсами  $t_{п}$ , силе сжатия электродов  $P_{св}$  и линейной скорости наложения шва  $v_{св}$ . Для контактной шовной сварки длительность импульса меньше, чем для точечной сварки. Расчет силы тока можно производить, пользуясь соотношением

$$I_{св} = 1,7 \cdot 10^5 b_p \sqrt{\rho_T}, \quad (3.1)$$

где  $b_p$  — ширина рабочей части дискового электрода, см;  $\rho_T$  — удельное электрическое сопротивление свариваемого материала, мкОм · см.

Сила тока для контактной шовной сварки получается несколько большей, чем в среднем для точечной сварки.

Скорость контактной шовной сварки также отработана на практике для деталей разной толщины, выполненных из разных металлов. Для предельной толщины (3 + 3) мм линейная скорость сварки для всех металлов практически одинакова и близка к 0,7 см/с. Изменение скорости для деталей другой, меньшей толщины и металлов разной электропроводности и теплоемкости представлено графиками, приведенными на рис. 3.7. Кривые не являются физическими абсолютными; численные значения скоростей могут изменяться в пределах  $\pm 20\%$ .

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Оборудование и материалы

Для выполнения работы используются следующие приборы, инструменты и материалы:

- машина для контактной шовной сварки;
- образцы заготовок для сварки;
- справочник для выбора параметров режима сварки;
- слесарные инструменты (ножовка, тиски, напильники);
- наждачная бумага;

- станок для приготовления макрошлифов;
- реактивы для выявления макроструктуры сварных соединений углеродистых сталей и алюминиевых сплавов;
- бинокулярный микроскоп типа МБС-9;
- штангенциркуль.

## Последовательность выполнения работы

1. Выбрать параметры режима сварки образцов по справочнику.
2. Установить выбранные параметры режима сварки на машине для контактной шовной сварки.
3. Произвести сварку пробного образца, определить диаметр ядра точки, величину перекрытия точек и при необходимости произвести корректировку параметров режима сварки.
4. Произвести подготовку поверхности контрольного образца к контактной сварке. Образцы из низкоуглеродистой стали зачистить наждачной бумагой. Образцы из алюминиевых сплавов до зачистки наждачной бумагой подвергнуть травлению в щелочи (гидроксид натрия) и осветлению в 30%-ном растворе азотной кислоты.
5. Выполнить сварку контрольного образца.
6. Разметить сваренный образец для изготовления макрошлифа так, чтобы линия реза ножовкой была смещена относительно центра сварной точки на ширину реза. Произвести разрезку контрольного образца поперек шва и вдоль шва по его оси.
7. Обработать поверхность реза напильником и затем на станке для изготовления макрошлифов.
8. Произвести травление поверхности макрошлифа реактивом для малоуглеродистой стали (10%-ным раствором персульфата аммония). При травлении поверхность макрошлифа протереть ватным тампоном, смоченным в растворе, до выявления макроструктуры. При подогреве раствора до 40 °С качество травления улучшается.
9. Пункты 4—8 повторить для сварки образцов неравной толщины.

## Содержание отчета

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующие основные сведения и результаты.

1. Название и цель работы.

2. Характеристики материалов и размеры образцов.
3. Выбранные параметры режима сварки.
4. Параметры режима сварки после корректировки.
5. Эскизы макрошлифов сечений образцов с указанием конфигурации зоны шва и его расположения относительно поверхности контакта свариваемых образцов. На эскизах указать ширину шва, расстояние от поверхности свариваемых образцов до литой зоны по оси расположения дисковых электродов машины для контактной шовной сварки и величину перекрытия точек.
6. Выводы по работе.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Что называют контактной шовной сваркой?
2. Как по свариваемой детали распределяется ток при контактной шовной сварке?
3. Перечислите конструктивные элементы соединения, выполненного контактной шовной сваркой.
4. Как подготавливают детали к контактной шовной сварке?
5. Какими параметрами характеризуется режим контактной шовной сварки?
6. Какие соединения выполняются контактной шовной сваркой?
7. Что представляют собой жесткий и мягкий режимы контактной шовной сварки?
8. Чем плотный шов отличается от неплотного?
9. Что такое перекрытие точек?

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОЙ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

Целью работы является изучение характера формирования соединения при контактной рельефной сварке деталей.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Классификация видов контактной рельефной сварки

Контактная рельефная сварка внахлестку выполняется по предварительно выполненным рельефам, обычно сферическим (рис. 4.1, *а*), овальным (рис. 4.1, *б*) — удобным при небольшой ширине нахлестки и для деталей вытянутой формы и кольцевым (рис. 4.1, *в*); которые применяются для выполнения прочных и плотных соединений, например для герметизации полупроводниковых приборов (рис. 4.1, *г*).

Рельефы размещают на более толстой из свариваемых деталей, причем на лицевой поверхности детали остается углубление (лунка или кольцо). Если рельеф образован холодной высадкой (рис. 4.1, *г*) или для образования соединения применены вставки (концентраторы, рис. 4.1, *е*), то след после сварки отсутствует.

Контактная рельефная сварка втавр (Т-образная) применяется для соединения детали по ее торцевой поверхности с поверхностью другой детали (рис. 4.2). На одной из деталей предварительно изготавливаются сферические, прямоугольные (рис. 4.2, *а—в*), или кольцевые (рис. 4.2, *г, г*) рельефы. При сварке по схеме, показанной на рис. 4.2, *е*, соединение образуется между наружной поверхностью трубы и внутренней кромкой отверстия в листе.

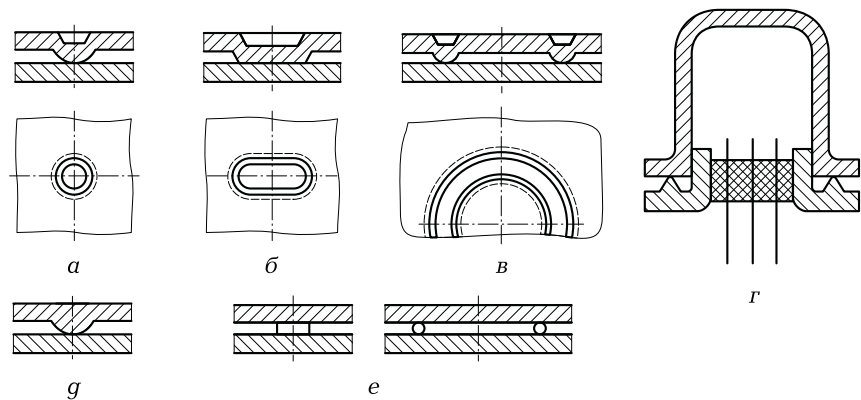


Рис. 4.1. Типы рельефов при контактной рельефной сварке внахлестку:  
 а — сферический; б — овальный; в — кольцевой; г — кольцевое герметичное соединение; д — образованный холодной высадкой;  
 е — вставки-концентраторы

Контактная рельефная сварка вкрест используется для соединения проволок, стержней, труб, имеющих естественные рельефы (рис. 4.3, а, б). Крестообразные соединения выполняются также для деталей с другими формами сечений, например, пластин, поставленных на ребро (рис. 4.3, г), трубы с полосой или угольником (рис. 4.3, г).

При небольшой толщине одного из свариваемых листов можно за один ход машины сваривать до 15—20 рельефов.

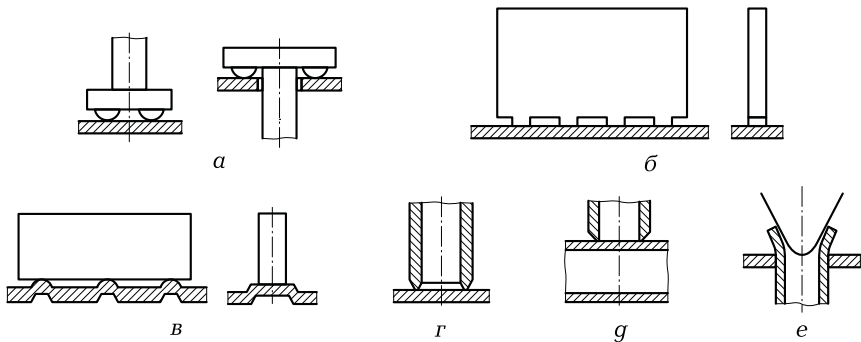


Рис. 4.2. Типы рельефов при контактной рельефной сварке втавр:  
 а — сферические; б, в — прямоугольные; г, д — кольцевые; е — соединение по внутренней кромке трубы

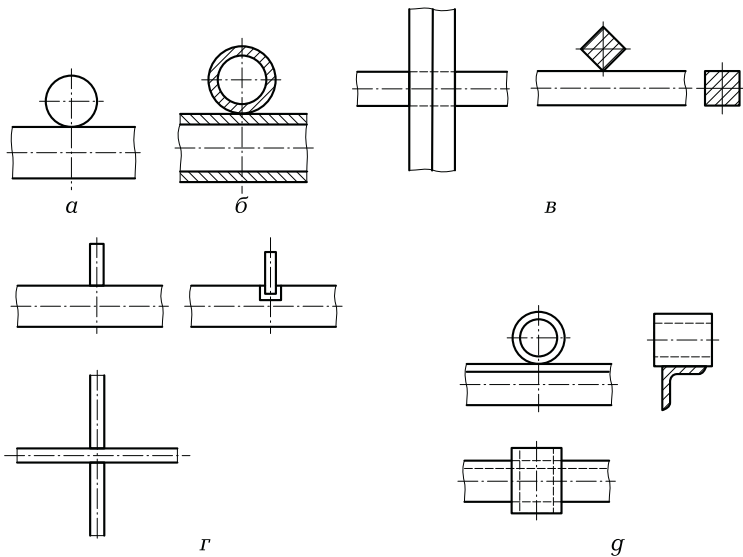


Рис. 4.3. Типы рельефов при контактной рельефной сварке вкрест:  
*а, б* — естественные; *в* — ребро квадрата; *г* — пластины, поставленные на ребро; *д* — труба с плоской деталью

## Образование сварного соединения при контактной рельефной сварке

Сварные соединения, образующиеся при контактной рельефной сварке, подразделяют на две группы:

- соединения с образованием литого ядра, которое получается при нагреве и деформации сферических рельефов (так же, как и в точечной сварке). Форма, размеры и прочность соединения в этом случае зависят главным образом от формы и размеров рельефа. Равномерность распределения теплоты и одновременная деформация рельефов достигаются плавным нарастанием (модуляцией) сварочного тока, увеличением усилия сжатия и уменьшением массы и инерции подвижной контактной плиты и частей привода;
- соединения при пластическом состоянии металла, без литой зоны, которые образуются при сварке с кольцевыми рельефами, а также в Т-образных и крестообразных соединениях.

Контактная рельефная сварка успешно используется для соединения деталей из углеродистых и легированных сталей. Для соединений из цветных металлов она применяется редко.

## Подготовка деталей к контактной рельефной сварке

Очистку поверхности деталей, правку, подгонку и сборку выполняют так же, как и для контактной точечной сварки.

В подготовке к сварке особое значение имеет формирование рельефов.

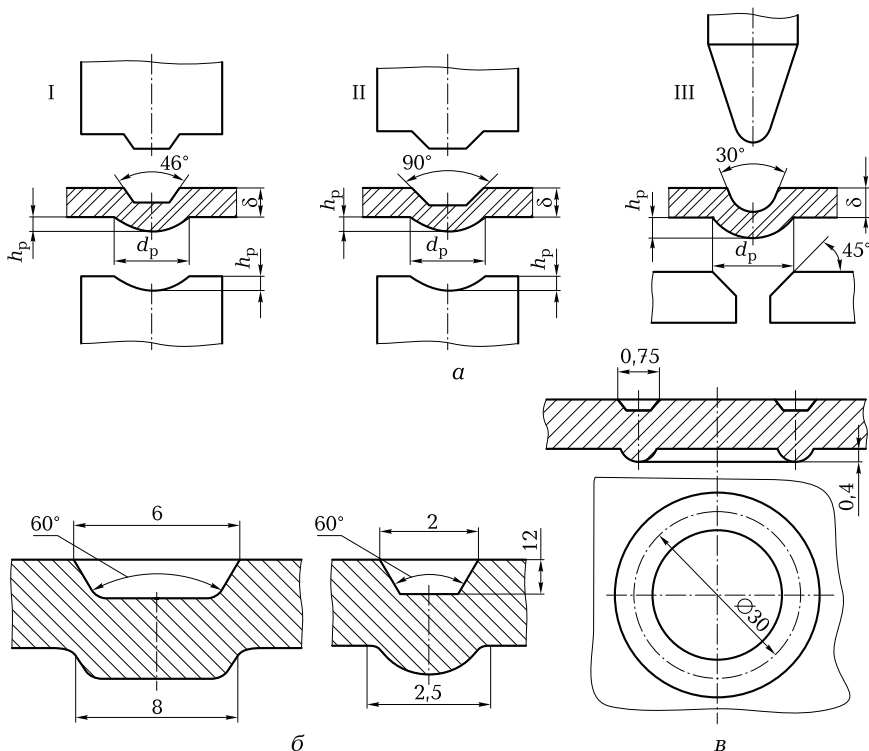


Рис. 4.4. Размеры рельефов:

*а* — сферических; *б* — удлиненных; *в* — кольцевых; I—III — типы сферических рельефов;  $\delta$  — толщина детали;  $h_p$ ,  $d_p$  — высота и диаметр рельефа

Размеры сечения сферических рельефов, а также форма пуансонов и матриц приведены на рис. 4.4, а; наибольшее применение нашли рельефы типов I и III. Удлиненные (овальные) рельефы показаны на рис. 4.4, б. Для сварки металла толщиной 0,4 ... 0,6 мм применяют кольцевые рельефы (рис. 4.4, в). Допуски на высоту и диаметр рельефа составляют соответственно  $\pm 0,05$  и 0,1 мм при толщине металла до 1,25 мм и  $\pm 0,12$  и 0,15 мм при толщине металла более 1,25 мм.

## Параметры режимов контактной рельефной сварки

Параметрами режима контактной рельефной сварки являются:

- сила сварочного тока  $I_{св}$ , кА (или плотность тока  $j$ , А/мм<sup>2</sup>,  $j = 4I_{св}/(\pi d_p^2)$ , где  $d_p$  — диаметр рельефа, мм);
- длительность протекания тока  $t_{св}$ , с;
- усилия сжатия электродов: при сварке  $P_{сж}$ , Н; при проковке  $P_k$ , Н; предварительное (без тока)  $P_{пр}$ , Н;
- размеры рельефа: диаметр  $d_p$  и высота  $h_p$ , мм.

Диаметр точки (а также расположение рельефов) принимается по ГОСТ 15878 — 79 (рис. 4.5 и табл. 4.1). Другие типы рельефов выполняют холодной высадкой или механической обработкой.

Значения параметров режима контактной рельефной сварки, приводимые в таблицах, корректируют в зависимости от конкретных условий сварки: конструкции машины, качества подготовки поверхности, количества и расположения рельефов, возможности изменения (модулирования) тока в процессе сварки.

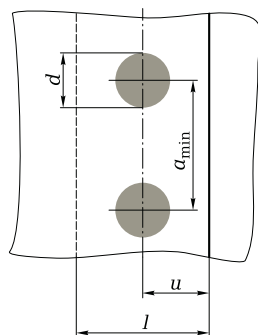
Плотность тока с увеличением диаметра рельефа (а, следовательно, и толщины свариваемых деталей) уменьшается. Например, при сварке деталей толщиной 0,6 мм с диаметром рельефа 2 мм плотность тока  $j = 1\,500$  А/мм<sup>2</sup>, а при толщине деталей 2 мм и диаметре рельефа 5 мм —  $j = 440$  А/мм<sup>2</sup>. В среднем плотность тока  $j$  составляет 200 ... 500 А/мм<sup>2</sup>. При сварке по кольцевым рельефам плотность тока значительно меньше, чем при сварке по сферическим рельефам.

Длительность протекания сварочного тока устанавливается в зависимости от толщины деталей и силы сварочного тока. Значительная длительность протекания тока требуется при сварке детали большой толщины и одновременной сварке нескольких рельефов.



Рис. 4.5. Размеры и расположение точек при контактной рельефной сварке (ГОСТ 15878–79):

$d$  — диаметр точки;  $u$  — расстояние от центра точки до края детали;  $l$  — величина нахлестки;  $a_{min}$  — минимальный шаг точек



Усилие сжатия электродов зависит от площади рельефа и механических свойств свариваемых металлов. Удельное давление при рельефной сварке составляет 70... 100 МПа; в нек оторых случаях (при большой жесткости деталей) оно достигает 150 МПа. Постоянная величина усилия должна сохраняться в течение нагрева рельефов, что обеспечивается конструкцией машины и ее элек тродной части.

Таблица 4.1. Диаметры и расположение точек при контактной рельефной сварке (ГОСТ 15878–79)

Толщина детали, мм	Диаметр точки $d$ , мм		Величина нахлестки $l$ , мм	Расстояние от кромки $u$ , мм	Расстояние между точками $a_{min}$ , мм
	номинальный	предельное отклонение			
0,3	1,5	+0,5	3	1,5	5
0,4...0,6	2,5		4	2	7
0,7...0,8	3	+1	5,5	2,75	9
0,9...1,1	4		7	3,5	10
1,2...1,4	5		8	4	12
1,5...1,6	6		10	5	15
1,8...2,2	7	+1,5	12	6	18
2,5...2,8	8		14	7	23
3...3,2	9		17	8,5	27
3,5...3,8	10	+2	20	10	30
4	11		22	11	34
4,5	12		24	12	38
5	13		26	13	42
5,5	14		28	14	46
6	15		30	15	50

Размеры рельефов — диаметр  $d_p$  и высота  $h_p$  — зависят от толщины свариваемых деталей. Размеры рельефов устанавливаются с тем расчетом, чтобы был обеспечен минимальный диаметр литого ядра  $d_{я}$ .

Общее усилие сжатия электродов, как правило, пропорционально числу рельефов.

Детали из низкоуглеродистой стали большой толщины сваривают на двух режимах с двумя типами рельефов: нормальными и уменьшенными. Первый режим применяют при соотношении толщин деталей не более 1 : 3; рельефы штампуют на более толстой детали, а режим устанавливают в соответствии с характеристиками детали меньшей толщины. Второй режим применяют для многорельефных соединений. Режимы сварки деталей из низкоуглеродистой стали большой толщины приведены в табл. 4.2.

**Таблица 4.2. Режимы контактной рельефной сварки деталей из низкоуглеродистой стали большой толщины**

Толщина каждой детали, мм	Размеры рельефа, мм		Размеры, мм		Диаметр ядра $d_{я}$ , мм	Усилие сжатия электродов, Н		Сила сварочного тока $I_{св}$ , кА
	$d_p$	$h_p$	$l_{min}$	$a$		$P_{сж}$	$P_k$	
<i>Нормальные рельефы</i>								
3,6	8	1,6	38	19	11	9 000	19 000	15,4
4	9	1,7	40	20	12	10 400	20 800	16,1
4,4	9,5	2	44	22	13	12 000	24 000	17,4
4,8	10	2	48	24	14	13 300	26 600	18,8
5,2	11	2,3	50	25	15	14 400	28 800	20,2
6,4	13,5	2,8	64	32	18	17 700	35 400	23,3
<i>Уменьшенные рельефы</i>								
3,6	6,8	1,5	40	19	9	6 400	12 800	11,1
4	7,5	1,6	42	20	10	6 500	13 000	11,8
4,4	8	1,7	43	21	11	6 800	13 600	12,8
4,8	8,5	1,8	44	23	11,5	7 250	14 500	13,9
5,2	9	2	46	24	12	7 850	15 700	14,9
6,4	10	2,2	52	28	13	9 500	19 000	17,3

**Таблица 4.3. Режимы контактной рельефной сварки круглых труб вкрест**

Размеры трубы, мм		Сила сварочного тока, кА	Усилие сжатия электродов, Н	Длительность протекания сварочного тока, с	Осадка трубы, %
Диаметр	Толщина стенки				
9,5	0,9	5	2 000	0,25	5
9,5	0,9	9	2 000	0,8	15
15,9	0,9	9,5	2 000	0,3	5
15,9	0,9	9,5	2 000	1,2	15
22,2	1,2	12	2 200	0,4	5
22,2	1,2	12	2 200	1,2	15
25,4	1,6	14	2 400	0,35	5
25,4	1,6	14	2 400	1,15	15
30,2	1,6	15	2 400	0,35	5
30,2	1,6	15	2 400	1,1	15
35,0	2,4	18	2 700	0,4	5
35,0	2,4	18	2 700	1,5	15

В табл. 4.3 приведены режимы сварки труб вкрест. Для каждого диаметра трубы даны два режима: с осадкой 5 и 15 %. Сварка происходит в пластическом состоянии металла. Соединение, выполненное сваркой с осадкой 15 %, разрушается по основному металлу.

В табл. 4.4 приведены режимы Т-образной сварки труб. Подготовка привариваемой трубы круглого сечения выполняется путем закругления ее торца.

**Таблица 4.4. Режимы Т-образной контактной рельефной сварки круглых труб из низкоуглеродистой стали**

Размеры трубы, мм		Усилие сжатия электродов $P_{сж}$ , Н	Сила сварочного тока $I_{св}$ , кА	Длительность импульса $t_{св}$ , с	Осадка трубы, %
Диаметр	Толщина стенки				
10	1,0	1 900	11	0,2	2,5
14	1,0	2 100	12	0,2	2,8
16	1,0	2 100	13	0,3	3,1

Размеры трубы, мм		Усилия сжатия электродов $P_{сж}$ , Н	Сила сварочного тока $I_{св}$ , кА	Длительность импульса $t_{св}$ , с	Осадка трубы, %
Диаметр	Толщина стенки				
18	1,25	2 300	13	0,4	3,5
20	1,25	2 300	14	0,4	4,0
22	1,25	2 300	14	0,5	4,3
25	1,5	2 400	14,5	0,6	5,0
28	1,5	2 500	15	0,6	5,5
30	1,5	2 500	15	0,8	6,0
32	1,5	2 500	16	1,1	6,3
35	2	2 700	19	1,3	7,0

## Формирование соединения при контактной рельефной сварке

Контактная рельефная сварка при простейших конструкциях рельефа почти ничем не отличается от точечной сварки. Схема формирования единичного рельефно-сварного соединения в последовательных стадиях нагрева рельефа и его деформации показана на

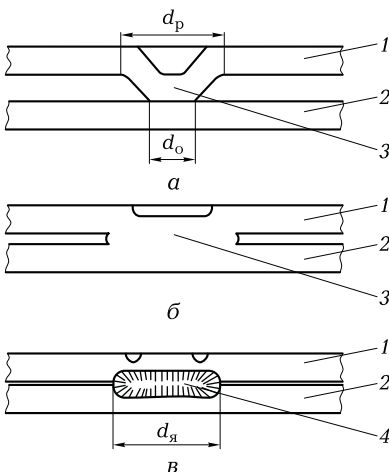


Рис. 4.6. Стадии (а–в) формирования рельефно-сварного соединения:

1, 2 – свариваемые детали; 3 – рельеф; 4 – расплавленное ядро;  $d_p$  – диаметр рельефа;  $d_o$  – диаметр контакта;  $d_я$  – диаметр литого ядра

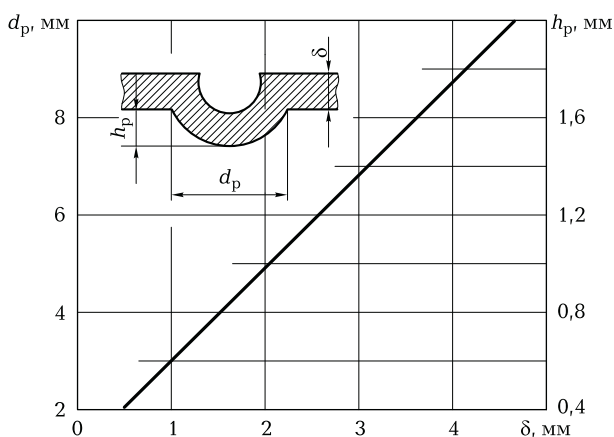
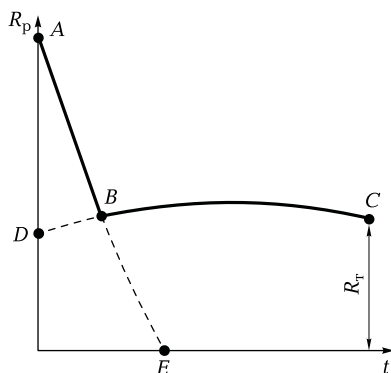


Рис. 4.7. Размеры рельефа в зависимости от толщины деталей:  
 $d_p$  — диаметр рельефа;  $h_p$  — высота рельефа;  $\delta$  — толщина свариваемых деталей

рис. 4.6. Рельеф является идеальным концентратором электро- и тепловыделения, поскольку это выделяющийся выступ, и притом выступ, обычно свободный от окалины и ржавчины. Время включения сварочного тока принимают обычно на 30 ... 40 % меньше, чем при точечной сварке, формирующей ядро такого же диаметра, как диаметр рельефа (см. рис. 4.6). Относительная кратковременность действия сварочного тока при рельефной сварке определяется более высокой концентрацией плотности тока в контакте, особенно в начальный период нагрева (рис. 4.6, а). В последующем (рис. 4.6, б) рельеф сминается, и нагрев идет примерно с такими же скоростями, как и в аналогичных условиях точечной сварки. Завершается процесс

Рис. 4.8. Осциллограммы изменения полного сопротивления контакта в процессе сварки рельефа  $ABC$ ; стыкового соединения  $ABE$ ; точечного соединения  $DBC$ :  
 $R_p$ ,  $R_r$  — сопротивление рельефа и сварной точки



(рис. 4.6, в) формированием расплавленного ядра. Наиболее распространенной формой рельефа является выступ, близкий по размерам к шаровому сегменту (рис. 4.7). Изменение полного сопротивления рельефа в процессе его сваривания показано на рис. 4.8 в виде осциллограммы *ABC*. В начальный период нагрев идет как для стыкового контакта (осциллограмма *ABE*), но после смятия рельефа сопротивление меняется (осциллограмма *DBC*).

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Оборудование и материалы

Для выполнения работы используются следующие приборы, материалы и инструменты:

- машина для контактной рельефной сварки;
- образцы заготовок для сварки;
- справочник для выбора параметров режима сварки;
- слесарные инструменты (ножовка, тиски, напильники);
- станок для приготовления макрошлифов;
- реактивы для выявления макроструктуры сварных соединений углеродистых сталей;
- бинокулярный микроскоп типа МБС-9.

### Последовательность выполнения работы

1. Выбрать параметры режима сварки образцов по справочнику.
2. Установить выбранные параметры режима сварки на машине для контактной рельефной сварки.
3. Произвести сварку пробного образца, определить диаметр ядра точки и при необходимости произвести корректировку параметров режима сварки.
4. Произвести подготовку поверхности контрольного образца к контактной рельефной сварке. Образцы из низкоуглеродистой стали зачистить наждачной бумагой.
5. Выполнить сварку контрольного образца.
6. Разметить сваренный образец для изготовления макрошлифа так, чтобы линия реза ножовкой была смещена относительно центра сварной точки на ширину реза.

7. Произвести разрезку сварного образца по разметке.
8. Обработать поверхность реза напильником и затем на станке для изготовления шлифов.
9. Произвести травление поверхности шлифа реактивом для низкоуглеродистой стали (10%-ным раствором персульфата аммония). При травлении поверхность шлифа протереть ватным тампоном, смоченным в растворе, до выявления макроструктуры. При подогреве раствора до 40 °С качество травления улучшается.

## Содержание отчета

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующие основные сведения и результаты.

1. Название и цель работы.
2. Характеристики материалов и формы рельефа, размеры образцов и рельефа.
3. Выбранные параметры режима сварки.
4. Параметры режима сварки после корректировки.
5. Эскизы макрошлифов сечений образцов с указанием конфигурации зоны ядра и его расположения относительно поверхности контакта свариваемых образцов. На эскизах необходимо указать диаметр литого ядра и расстояние от поверхности свариваемых образцов до литой зоны ядра по оси расположения электродов контактной машины. Привести эскизы рельефа до сварки.
6. Выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Что называют контактной рельефной сваркой?
2. В чем заключаются достоинства контактной рельефной сварки?
3. Какие недостатки присущи контактной рельефной сварке?
4. Как подготавливают детали к контактной рельефной сварке?
5. Какие параметры характеризуют режим контактной рельефной сварки?
6. Почему в зоне рельефа выделяется тепловая энергия?
7. Какие виды рельефов вы знаете?
8. Что такое естественный рельеф?
9. Как изменяется величина контактного сопротивления при контактной рельефной сварке?

# ВЫБОР РЕЖИМОВ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Целью работы является изучение характера формирования соединения при контактной стыковой сварке деталей из углеродистой стали.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Классификация видов контактной стыковой сварки

Контактная стыковая сварка *сопротивлением* пригодна для соединения деталей с небольшой площадью поперечного сечения (до  $250 \text{ мм}^2$ ) и компактной формой сечения, например в виде кривого, квадрата. Невозможность равномерного нагрева торцов препятствует выполнению сварки деталей развитого сечения (тонкий лист, тонкостенная труба, прокатный профиль и др.). Сварной стык имеет плавное усиление (утолщение); как правило, стык после сварки не обрабатывается.

Контактная стыковая сварка *непрерывным оплавлением* пригодна для соединения деталей компактного и развитого сечений, в первом случае — площадью до  $1\,000 \text{ мм}^2$ , во втором — большей площади. Например, сварку непрерывным оплавлением успешно применяют для соединения листов шириной  $2\,000 \text{ мм}$  и толщиной  $1,5 \dots 2 \text{ мм}$ , т. е. площадью торца  $3\,000 \dots 4\,000 \text{ мм}^2$ . При условии программирования управления напряжением можно сваривать непрерывным оплавлением детали с большей площадью сечения (до  $10\,000 \text{ мм}^2$ ). Сварка оплавлением с подогревом применяется для соединения деталей с большой площадью сечения — до  $5\,000 \dots 10\,000 \text{ мм}^2$ .



Контактная стыковая сварка *импульсным оплавлением* дает высокую эффективность при соединении деталей большого сечения — площадью до  $100\,000\text{ мм}^2$  — и высокое качество соединений металлов, обладающих низкой свариваемостью.

## Образование сварного соединения при контактной стыковой сварке

Образование сварного соединения при контактной стыковой сварке происходит в результате нагрева торцов деталей и их пластической деформации усилием осадки. Характер формирования соединения, а вместе с этим его прочность и другие механические свойства зависят от состояния поверхностей торцов деталей, определяемого видом обработки, температурой перед осадкой, наличием оксидных пленок и загрязнений; характера распределения температуры (теплофизических свойств), величины и характера деформации торцов под действием усилия осадки.

Частично сторевавший металл, смешанный с расплавленным, образует в месте стыка выплеск, называемый *гротом*, который срезает после сварки.

В зоне, прилегающей к стыку, свойства металла изменяются в зависимости от характера термического и механического воздействия при сварке (длительности и температуры нагрева, скорости и величины усилия осадки и др.). Эти показатели можно регулировать в широких пределах, следовательно, и свойства металла околошовной зоны можно получить заданными или близкими к ним.

На рис. 5.1 представлены формы стыковых соединений, получающихся в результате ударно-стыковой сварки (рис. 5.1, *а*), сварки оплавлением (рис. 5.1, *б*) и сварки сопротивлением (рис. 5.1, *в*). На рис. 5.1 отмечены расстояния от контактной плоскости до зоны, в которой металл не претерпел никаких пластических деформаций под действием осадочной силы. В этом месте сваренная деталь сохранила по диаметру первоначальный, досварочный размер. Назовем эту зону зоной нулевой деформации.

Нагрев стержней и вообще любых деталей в губках стыковой машины происходит под действием почти постоянного по величине напряжения холостого хода. Сила же тока нагрева по мере увеличения удельного сопротивления металла падает. Если идет не просто нагрев, а сварка стержней, то температура нагрева контакта и самих стержней в итоге весьма своеобразно изменяется во времени: действующая и измеряемая в плоскости контакта температура растет

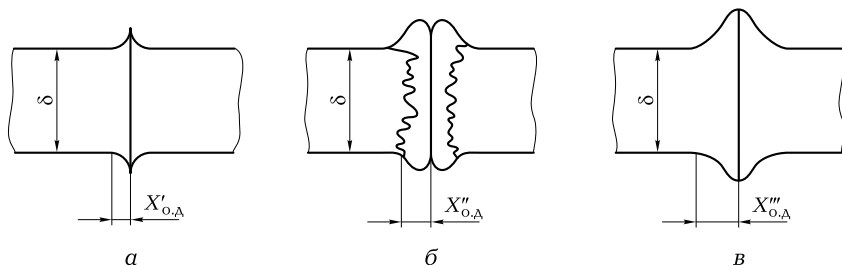


Рис. 5.1. Формы стыковых соединений в результате ударно-стыковой сварки [а], стыковой сварки оплавлением [б] и стыковой сварки сопротивлением [в]:

$\delta$  — толщина детали;  $X'_{o,d}$  —  $X''_{o,d}$  —  $X'''_{o,d}$  — размеры зон осадочной деформации

приблизительно пропорционально половинной степени времени включения тока.

Форма готового сварного соединения, изготовленного сваркой сопротивлением, определяется, в первую очередь, режимом нагрева, а затем и операцией сжатия стержней. На этом вопросе следует остановиться несколько подробнее. Здесь снова можно обратить внимание на необходимость ввести новый параметр режима сварки — скорость осадки.

Необходимая деформация обуславливается, прежде всего, тем, насколько хорошо она обеспечит вынос из плоскости контакта всех нежелательных загрязнений металла. В конечном же итоге деформация создает в массе глубинных чистых слоев металла прочную металлическую связь. Эти ответственные технологические эффекты определяются не только величиной осадочного давления, но и для каждого температурного состояния стержней — скоростью действия осадочной силы.

Чаще всего стыковая сварка сопротивлением применяется для сварки стальной, медной и алюминиевой проволоки диаметром от 2 до 10 мм. Стержни больших сечений и вообще детали больших развитых сечений — это уже область применения стыковой сварки методом оплавления, и притом преимущественно стальных деталей.

Рассмотрим некоторые принципы поведения стальных деталей при их стыковой сварке.

Типовая структура деталей, сваренных методом оплавления, схематически показана на рис. 5.2. На нем условно изображена полого растянутая в направлении оси стержней кривая температур, зафиксированных в стержнях в момент выключения тока. В соответствии

с этим распределением температуры по сечению правого стержня показана схема типовой структуры металла вокруг сварного соединения и в нем самом. В результате сжатия стержней жидкий окисленный металл из плоскости контакта выдавливается и распределяется по всей окружности стыка в виде кольца А. Плоскость контакта почти всегда характеризуется белой нетравящейся прослойкой Б, узкой посередине с утолщением к наружным волокнам.

Следующая зона В характеризуется большими размерами зерен. Здесь температура будет выше  $1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , структура такого металла называется перегретой. Металл с такими зернами обладает пониженной пластичностью. Желательно, чтобы этот слой был как можно более тонким. В зоне Г температуры таковы, что при медленном охлаждении создается постепенный переход к мелкозернистой структуре. Металл в зоне Д нагревается до температур несколько выше точки  $A_{c_3}$  на диаграмме состояний железо — углерод и потому претерпевает полную перекристаллизацию. Структура металла в этой зоне мелкозернистая. Между зоной Д и зоной Е нагрев был выше точки  $A_{c_2}$ , но ниже  $A_{c_3}$ . Здесь наблюдается только частичная перекристаллизация. В зоне Е не наблюдается никаких структурных изменений. Полная структурная картина стержней, приведенная на

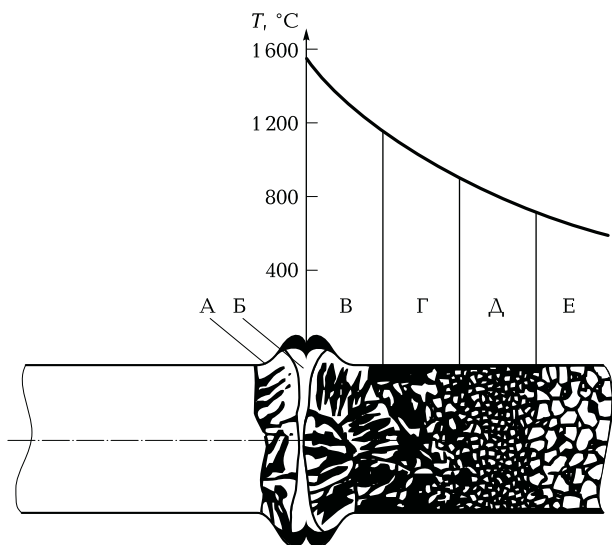


Рис. 5.2. Структура соединения стальных стержней, полученного контактной стыковой сваркой оплавлением:  
А—Е — структурные зоны

рис. 5.2, показывает, что пластические свойства и, следовательно, вязкость от слоя к слою меняются.

Рассмотрим структурные особенности стыковых соединений стержней из углеродистых и легированных закаливающихся сталей с помощью графиков твердости (рис. 5.3). При стыковой сварке скорости охлаждения практически всегда получаются выше тех, которые создают те или иные закалочные структуры, поэтому свариваемые стержни из углеродистых и легированных сталей всегда приобретают в зоне шва ту или иную закаленную структуру.

Распределение твердости по кривой 1—O—1 соответствует случаю сварки стержней, закаленных на высокую твердость. Как видно, в окрестности точки O (зона отжига) закалка будет снята, т. е. в этой зоне температура будет соответствовать температуре отжига. Падение твердости в самом контакте для всех кривых объясняется неизбежным обезуглероживанием оплавляемых поверхностей стержней. Обезуглероженный слой располагается обыкновенно в пределах нетравящейся полоски Б, показанной на рис. 5.2.

Кривая твердости типа 2—O—1 (см. рис. 5.3) может соответствовать случаю сварки холоднокатаной (нагартованной) и умеренно закаливающейся стали. Сильный наклеп при нагреве в окрестности точки O оказался полностью снятым, но высокотемпературный нагрев вблизи контакта (точка 2) при соответствующей скорости охлаждения создал структуру умеренной закалки на троостит или сорбит.

Возможны и другие варианты распределения твердости в сварном соединении в результате структурных превращений. Например, если на сварку поступил стержень в отожженном состоянии из металла, склонного к закалке, то в процессе сварки он может получить сильную или умеренную закалку в зависимости от скорости охлаждения сварного соединения.

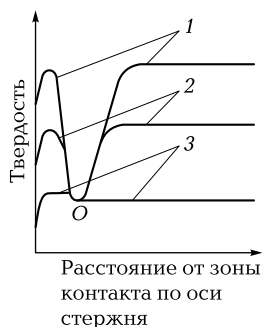


Рис. 5.3. Графики (1—3) возможного распределения твердости в стальных стержнях, полученных контактной стыковой сваркой оплавлением

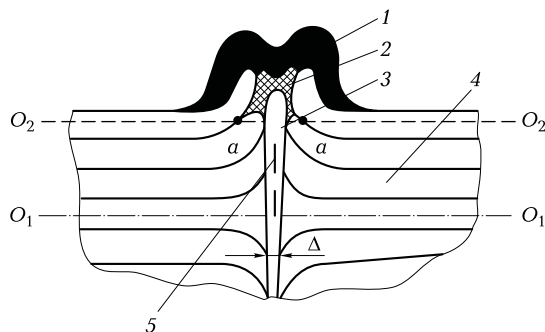


Рис. 5.4. Структурное строение стыкового соединения, полученного контактной стыковой сваркой оплавлением:

1 — окисленный металл; 2 — зона рыхлого металла; 3 — нетравящаяся полоска; 4 — деформированный основной металл; 5 — микротрещины; *a* — границы волокон металла;  $\Delta$  — ширина нетравящейся полоски

Типовая структурная схема соединения, сваренного методом оплавления, представлена на рис. 5.4. При глубоком травлении полированного шлифа четко фиксируется волокнистое строение основного (прокатного) металла 4, наибольшие усилия сжатия по оси стержней. Давления в краевых волокнах оказываются настолько малыми, что в зоне 2 металл имеет рыхлое строение. Здесь чистый металл в значительной степени перемешивается с окисленным 1, который выплескивается во время оплавления в результате сжатия. В зоне 2 появляются даже усилия обратного знака, разрывающие металл. Искривления волокон в зоне 2 настолько сильны, что при срезании верхних слоев металла по плоскости  $O_2—O_2$  в районе стыка появляются точки *a*, являющиеся границами волокон металла. Эти точки представляют собой дополнительные концентраторы напряжений при ударных испытаниях и испытаниях на изгиб. Они в значительной степени определяют известную для стыковой сварки нестабильность показателей прочности на удар и изгиб механически обработанных образцов.

Особо следует отметить в структурной схеме полоску 3, которая остается белой и нетравящейся. Ее ширина увеличивается к периферии образцов и уменьшается к осевой линии. Эта белая нетравящаяся полоска для современного металловедения представляет собой пока неразрешенную загадку. Специалисты самых различных областей, обнаруживая эти полоски на металле, долгое время были убеждены, что такие структурные картины нигде больше не повто-

ряются. Дальнейшие исследования позволили отметить эту нетравящуюся структуру в различных условиях и при различном воздействии на металл.

Белая нетравящаяся полоска всегда получается на поверхностях, обработанных электрической искрой. Однако она фиксируется и при полном отсутствии электрических разрядов, например при скоростной механической обработке металла. Мало того, аналогичные слои обнаруживаются на поршневых кольцах двигателей внутреннего сгорания, на трущихся поверхностях автомобильных рессор. Зафиксированы белые нетравящиеся полоски и на поверхностях высокоуглеродистых пластин, сваренных друг с другом посредством мощного ударного давления, осуществленного взрывом. Обнаруживаются белые нетравящиеся полоски и при газопрессовой сварке.

Наличие белой нетравящейся полоски — это не просто структурный контраст. В ней обнаруживаются микротрещины 5. В изломе они фиксируются в виде округлых пятен — островков несплавления. Микродефекты такого рода содержатся только в слое белой полоски и, видимо, с ней органически связаны. Ширина полоски  $\Delta$  уменьшается по мере увеличения осадочного давления. Так, в частности, для низкоуглеродистой стали при давлениях выше 60 МПа белая полоска исчезает. Она выдавливается и тем успешнее, чем с большей, возможной для современных машин скоростью, прикладывается осадочная сила. Полоска будет выдавливаться и при осадке с вращением.

## Подготовка деталей к контактной стыковой сварке

Примеры конструктивного выполнения деталей для контактной стыковой сварки показаны на рис. 5.5. Рациональная конструкция, обеспечивающая равномерный нагрев обеих деталей, приведена на рис. 5.5, а; на рис. 5.5, б показана нежелательная конструкция, не гарантирующая высокого качества стыка. Отклонения по диаметру или стороне квадрата в сечении детали могут быть допущены в пределах 15 %; по толщине полосы, листа, стенки трубы — 10 %. На рис. 5.5, в показана подготовка торцов прутков для сварки с опротивлением.

Обработка торцов свариваемых деталей может производиться резкой на токарных, строгальных, фрезерных станках; термической резкой — кислородной, плазменной — с последующим удалением графа, шлака и окалины. Очистка контактирующих поверхностей

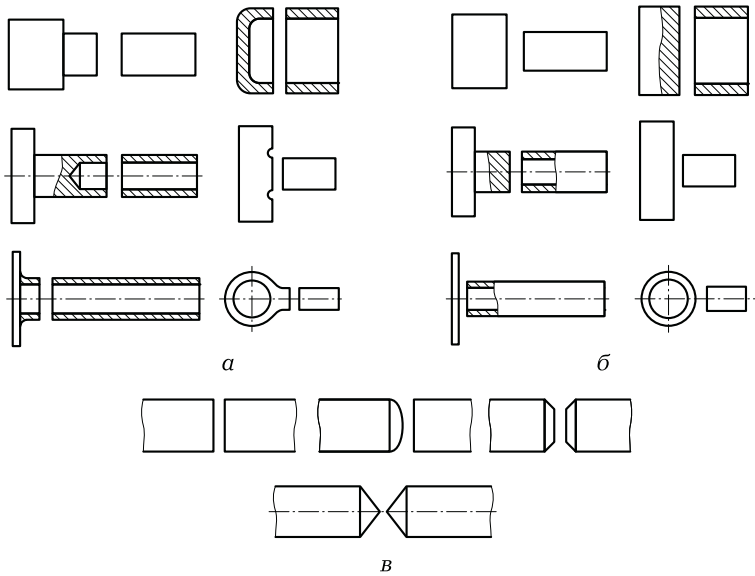


Рис. 5.5. Конструктивное выполнение деталей для контактной стыковой сварки:

*a* — рациональное; *б* — нежелательное; *в* — подготовка торцов деталей для сварки сопротивлением

осуществляется механической обработкой, травлением с последующей нейтрализацией и промывкой, дробеструйной очисткой, галтовкой в барабанах (мелкие детали). Сварка деталей с неочищенной контактной поверхностью ведет к повышенному износу электродов.

## Параметры режима контактной стыковой сварки

Параметрами режима контактной стыковой сварки сопротивлением являются:

- плотность тока  $j$ , А/мм<sup>2</sup>;
- длительность протекания тока  $t_{св}$ , с;
- усилие осадки  $P_{ос}$ , Н;
- удельное давление осадки  $p_{ос}$ , Н/мм<sup>2</sup>:

$$p_{ос} = P_{ос} / S. \quad (5.1)$$

В стыковой сварке (как и во всех прочих видах контактной сварки) применяют как жесткие режимы, характеризующиеся большой плотностью тока и малой длительностью его протекания, так и мягкие — с малой плотностью тока и большой длительностью его протекания.

Для сварки деталей с малой площадью сечения применяются жесткие режимы. Соотношения плотности тока и длительности протекания тока для деталей разных сечений приведены далее:

$S, \text{ мм}^2$ .....	25	50	100	250	500	1 000
$j, \text{ А/мм}^2$ .....	200	160	140	90	60	40
$t_{\text{свр}}, \text{ с}$ .....	0,6	0,8	1,0	1,5	2,5	4,5

Удельное давление осадки для низкоуглеродистых сталей составляет 10 ... 30 Н/мм<sup>2</sup>; для сталей повышенной прочности — 20 ... 50 Н/мм<sup>2</sup>; для легированных сталей — до 100 ... 150 Н/мм<sup>2</sup>; для цветных металлов — 3 ... 15 Н/мм<sup>2</sup>. При сварке разнородных металлов, например, стали с медью или латунью, низкоуглеродистой стали с легированной, удельное давление подбирается опытным путем.

Установочная длина  $l_1 + l_2$  выбирается в зависимости от площади  $S$  поперечного сечения деталей. Принимают следующие значения установочной длины:

$S, \text{ мм}^2$ .....	25	50	100	250
$l_1 + l_2, \text{ мм}$ .....	6	8	10	12

При сварке разнородных металлов  $l_1$  отличается от  $l_2$ ; металл, имеющий большую теплопроводность, должен иметь и большую установочную длину.

Установочная длина  $l_1 + l_2$  выбирается с таким расчетом, чтобы при сварке не происходила потеря устойчивости и искривление деталей (при чрезмерно большой величине  $l_1 + l_2$ ) и в то же время не было интенсивного теплоотвода (при заниженной величине  $l_1 + l_2$ ).

Параметрами режима контактной стыковой сварки оплавлением являются:

- плотность тока при оплавлении  $j_{\text{опл}}, \text{ А/мм}^2$ ;
- плотность тока при осадке  $j_{\text{ос}}, \text{ А/мм}^2$ ;
- скорость оплавления  $v_{\text{опл}}, \text{ мм/с}$ ;
- скорость осадки  $v_{\text{ос}}, \text{ мм/с}$ ;
- удельное давление осадки  $p_{\text{ос}}, \text{ Н/мм}^2$ ;
- установочная длина  $l_1 + l_2, \text{ мм}$ ;



- припуск на оплавление (с уммарное укорочение деталей при оплавлении)  $\Delta_{\text{опл}}$ , мм;
- величина осадки под током  $\Delta_{\text{ос.т}}$ , мм.

Скорость оплавления выбирают с таким расчетом, чтобы процесс протекал устойчиво. При сварке деталей из низкоуглеродистых сталей на жестких режимах с высокой производительностью скорость оплавления составляет 4...6 мм/с (табл. 5.3). При большой длительности оплавления (сварка деталей большого сечения) скорость оплавления снижается до 2...2,5 мм/с.

Рекомендуемые начальные скорости оплавления стальных деталей сплошного сечения следующие:

$S$ , мм <sup>2</sup> .....	100	250	500	1 000	1 500	2 500	5 000
$v_{\text{опл}}$ , мм/с....	3,5...4,5	3...4	2,5...3,5	2...2,5	1,8...2,5	1,5...2	1...1,3

Скорость осадки должна быть в 10 — 15 раз больше скорости оплавления, что объясняется необходимостью быстрого удаления оксидов и перегретого металла из зоны стыка. Для различных металлов принимают следующие значения скорости осадки, мм/с:

низкоуглеродистая сталь — 50...60;

легированные стали (в том числе хромистые и хромоникелевые) — 70...120;

никелевые сплавы — 60 и более;

алюминий, и его сплавы — более 150;

медь и ее сплавы — 200 и более.

Давление осадки зависит от размеров площади сечения, прочности металла свариваемых деталей, ширины зоны нагрева и степени разогрева концов деталей.

Величину давления выбирают также в зависимости от характера режима: при жестких режимах давление значительно больше, чем при мягких режимах. При сварке с подогревом давление осадки значительно меньше.

Величина осадки разделяется на осадку под током и без тока; она связана с величиной давления осадки и зависит от тех же условий.

Установочная длина деталей при сварке оплавлением определяется из соотношения

$$l_1 + l_2 = \Delta_{\text{опл}} + \Delta_{\text{ос}} + \Delta_{\text{к}}$$

где  $\Delta_{\text{опл}}$  — припуск деталей на оплавление;  $\Delta_{\text{ос}}$  — припуск на осадку (под током и без тока);  $\Delta_{\text{к}}$  — конечное расстояние между электродами после сварки.

Окончательно установочную длину выбирают, руководствуясь теми же соображениями, что при сварке сопротивлением. Для круглых стержней и толстостенных труб диаметром  $d — l_1 + l_2 = (0,7 \dots 1)d$ ; для полос толщиной  $\delta — l_1 + l_2 = (4 \dots 5)\delta$ .

В табл. 5.1 и 5.2 приводят значения припуска на оплавление и осадку при сварке стальных стержней и полос. Величина осадки под током обычно составляет 50...60 % общей величины осадки. Конечное расстояние между электродами  $\Delta_k$  выбирают из условий обеспечения устойчивости выпущенных из электродов концов деталей и теплоотвода в губки. Обычно  $\Delta_k$  не больше  $\Delta_{опл} + \Delta_{ос}$ .

**Таблица 5.1. Припуски на оплавление и осадку при контактной стыковой сварке стержней из углеродистых сталей**

Диаметр стержня, мм	Припуски, мм			
	Непрерывное оплавление		Оплавление с подогревом	
	$\Delta_{опл}$	$\Delta_{ос}$	$\Delta_{опл}$	$\Delta_{ос}$
5	5	2	—	—
10	5	3	—	—
20	9	4	7	4
30	12	4,5	8	4
40	17	5	11	4
50	19	6	12	5
80	—	—	15	8
100	—	—	18	9

**Таблица 5.2. Припуски на оплавление и осадку при контактной стыковой сварке полос из низкоуглеродистой стали**

Размеры полосы, мм		Припуски, мм				
Толщина	Ширина	Общий	На оплавление	На осадку		
				Общий	Под током	Без тока
2	100	9	7	2	1	1
	200	11	9			
	400	11,5	9	2,5	1	1,5
	800	13,5	10	3,5	1,5	2
	1 200	15	11	4	2	
	2 000	17,5	13	4,5		

Размеры полосы, мм		Припуски, мм				
Толщина	Ширина	Общий	На оплавление	На осадку		
				Общий	Под током	Без тока
3	100	12	9	3	1	2
	200	13,5	10	3,5	1,5	
	400	15	11	4		2
	800	16,5	12	4,5		
	1 200	18	13	5	3	
	2 000	20	14	6		
4	100	13,5	10	3,5	1,5	2
	200	15	11	4	2	
	400	16,5	12	4,5		2,5
	800	18	13	5		
	1 200	19,5	14	5,5	3	
	2 000	21	15	6		
5... 10	100	14	10	4	2	2
	200	16	11,5	4,5		2,5
	400	17,5	12	5	2,5	3
	800	19,5	13,5	5,5		3,5
	1 200	21,5	15	6		
	2 000	23	16	6,5		4

### Режимы контактной стыковой сварки

Подготовка торцов показана на рис. 5.5, в. Режимы контактной стыковой сварки с сопротивлением проволоки диаметром до 5 мм приведены в табл. 5.3.

**Таблица 5.3. Режимы контактной стыковой сварки сопротивлением проволоки диаметром до 5 мм**

Металл	Диаметр проволоки $d_{пр}$ , мм	Установочная длина $l_1 + l_2$ , мм	Сила сварочного тока $I_{св}$ , А	Длительность протекания тока $t_{св}$ , с	Усилие осадки $P_{ос}$ , Н
Углеродистая сталь	0,8	3	300	0,3	2
	2	6	750	1	8
	3	6	1 200	1,3	14
Медь	2	7	1 500	0,2	10
Алюминий	2	5	900	0,3	5
Нихром	1,85	6	400	0,7	8

Величину осадки принимают  $\Delta_{ос} = d_{пр}$ , величину осадки под током  $\Delta_{ос.т} = (0,2 \dots 0,3)d_{пр}$ . Для сварки проволоки из легированных сталей применяют жесткие режимы с последующим отпуском.

## Технологические циклы контактной стыковой сварки

Технологическим циклом контактной стыковой сварки следует называть сумму однообразно повторяющихся операций, в результате совершения которых получают стыковое сварное соединение заданного качества.

Первой и основной операцией, таким образом, является нагрев. Этот процесс весьма разнообразен. Если речь идет о сварке сопротивлением, то он может быть непрерывным (рис. 5.6, а) или прерывистым (рис. 5.6, б). Используется и комбинация (рис. 5.6, в) обоих процессов. Непрерывный нагрев особенно характерен для проволоки и прутков малого диаметра (2...8 мм).

Для круглых стержней большего диаметра рационально использовать или прерывистый, или комбинированный подогрев. Операция подогрева вообще может одновременно решать три задачи:

- создать равномерный нагрев по всей плоскости контакта;
- обеспечить относительно малую скорость подъема температуры для выс легируемых сталей, не выносящих слишком быстрого нагрева;
- подготовить к окончательному сварочному нагреву контакт и его зону для заготовок легированной закаливающейся стали.

Для компактных сечений операция подогрева почти всегда предшествует процессу оплавления. Чаще всего, однако, после каждого импульса подогрева контакт разрывают, а затем детали вновь соединяют для следующего импульса подогрева. Такой прерывистый подогрев используют для сварки больших компактных сечений, например стержней железобетонной арматуры.

При сварке заготовок такого рода никогда не заботятся о форме свариваемых концов. После грубой механической обрубки, а также газовой или дуговой резки они принимают с амую произвольную форму.

Прерывистый подогрев с разрывами контакта обеспечивает выравнивание всех неровностей концов. После многократных замыканий и размыканий такого рода под током детали не только имеют плоский контакт, но и должным образом подогреваются до температуры  $T_{\text{пд}}$  для перехода на непрерывный процесс оплавления.

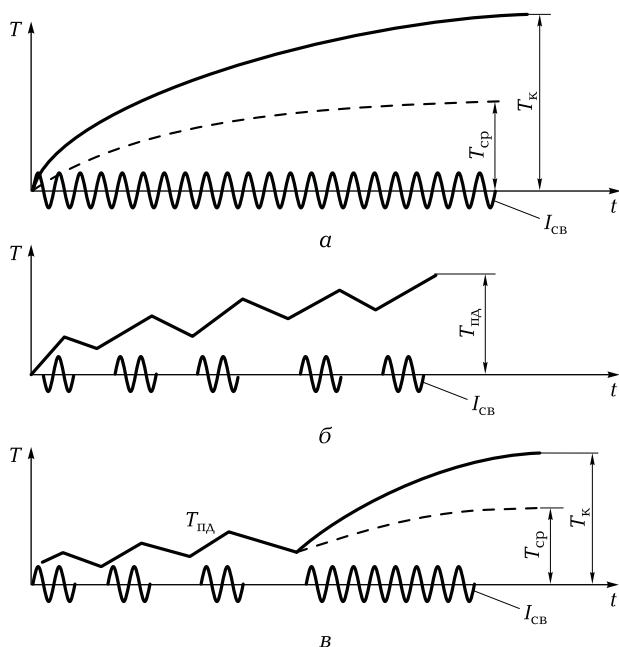


Рис. 5.6. Температурные кривые непрерывного (а), прерывистого (б) и комбинированного (в) нагрева стержней при контактной сварке сопротивлением:

$T_k$  — температура контакта;  $T_{ср}$  — средняя температура нагрева стержня в зоне соединения;  $T_{пд}$  — температура подогрева;  $I_{св}$  — сила сварочного тока

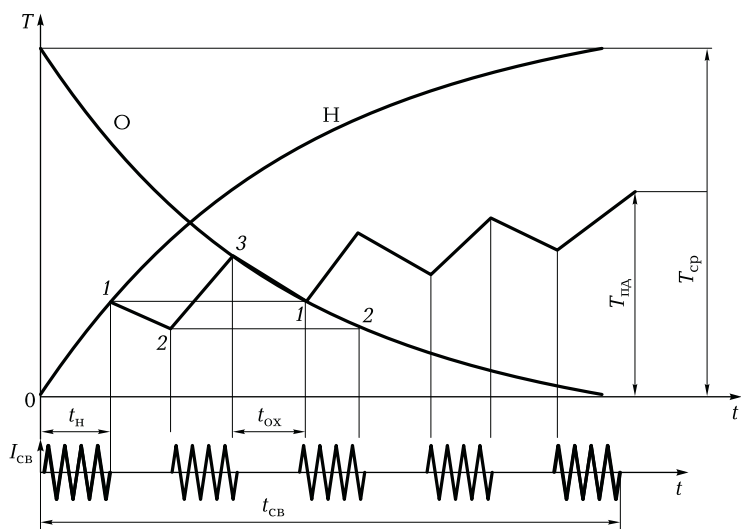


Рис. 5.7. Временные зависимости параметров процесса нагрева деталей методом прерывистого оплавления:  
 1—3 — точки смены режима нагрева;  $T_{ср}$  — средняя температура нагрева стержня в зоне соединения;  $T_{нд}$  — температура подогрева;  $H$  — кривая непрерывного нагрева стержней электрическим током;  $O$  — кривая непрерывного охлаждения тех же стержней;  $t_H$  — время нагрева;  $t_{ох}$  — время охлаждения;  $t_{св}$  — продолжительность процесса сварки;  $I_{св}$  — сила сварочного тока

При прерывистом подогреве обычно используют то же вторичное напряжение, которое в дальнейшем, после подогрева будет вызывать оплавление деталей. Следовательно, процесс все время идет на одной и той же внешней характеристике сварочного трансформатора. Такой именно случай и рассмотрим как типовой. На рис. 5.7 представлены временные зависимости непрерывного нагрева стержней ( $H$ ) с силой ток а  $I_{св}$ , непрерывного охлаждения тех же стержней ( $O$ ) и изменения температуры подогрева стержней ( $T_{нд}$ ). Первый импульс подогрева создает подъем температуры по участку кривой  $0—1$ . В этот момент ток выключается или разрывается контакт. Стержни охлаждаются по участку кривой  $1—2$ , в точности параллельному такому же участку  $1—2$  на кривой  $O$  для такой же температуры. Второго импульс нагрева пойдет по части кривой  $2—3$ , в точности параллельной такому же температурному участку на кривой непрерывного нагрева. Затем все повторяется многократно, но так, что и нагревы, и охлаждения за каждый импульс будут осуществляться по соответствующим участкам кривых  $H$  и  $O$ .

### Оборудование и материалы

Для выполнения работы используются следующие приборы, материалы и инструменты:

- машина для контактной стыковой сварки сопротивлением или оплавлением;
- образцы заготовок для сварки;
- справочник для выбора параметров режима сварки;
- слесарные инструменты (ножовка, тиски, напильники, молоток);
- бинокулярный микроскоп типа МБС-9;
- штангенциркуль;
- станок для изготовления макрошлифов.

### Последовательность выполнения работы

1. Выбрать параметры режима сварки образцов по справочнику.
2. Установить выбранные параметры режима сварки на пульта управления машины для контактной стыковой сварки.
3. Произвести сварку пробного образца.
4. С помощью тисков и молотка произвести разрушение образца.
5. При помощи бинокулярной лупы исследовать поверхность излома соединения. Отметить наличие или отсутствие дефектов в соединении в виде слипаний и не удаленных из стыка оксидных пленок.
6. При необходимости произвести корректировку режима сварки.
7. Выполнить сварку контрольного образца.
8. Разметить сваренный образец для изготовления шлифа так, чтобы линия реза ножовкой была смещена относительно оси стержня на толщину ножовочного полотна.
9. Произвести разрезание сваренного образца по разметке.
10. Обработать поверхность реза напильником и затем на станке для изготовления шлифов.
11. Произвести травление поверхности шлифа реактивом для углеродистой стали (10%-ным раствором персульфата аммония). При

травлении поверхность шлифа протереть ватным тампоном, смоченным в растворе, до выявления макроструктуры. При подогреве раствора до 40 °С качество травления улучшается.

12. Зарисовать структуру полученного соединения.

13. Произвести сварку образцов, изменяя величину припуска на осадку и установить влияние этого параметра на качество получаемого соединения.

## Содержание отчета

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующие основные сведения и результаты.

1. Название и цель работы.
2. Характеристики материалов и размеры образцов, а также величину припуска на осадку.
3. Выбранные параметры режима сварки.
4. Параметры режима сварки после корректировки.
5. Эскизы макрошлифов сечений образцов с указанием конфигурации соединения и наличия дефектов. На эскизах необходимо указать ширину зоны термического влияния (примерно по структуре макрошлифа и наличию светлой полоски в соединении). Привести эскизы свариваемых деталей до сварки.
6. Выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Какие виды контактной стыковой сварки применяются для соединения деталей?
2. От чего зависит выбор параметров режима контактной стыковой сварки?
3. За счет чего при контактной стыковой сварке из зоны стыка удаляются оксидные пленки?
4. Какие структурные зоны присутствуют в сварном соединении стержней из углеродистой стали, выполненном контактной стыковой сваркой оплавлением?
5. Какие явления вызывают образование светлой полоски в соединении деталей из углеродистой стали?
6. Какие технологические циклы используются при контактной стыковой сварке?



# ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ ПО СЛОЮ КЛЕЯ И ГРУНТА

Целью работы является изучение технологических особенностей изготовления соединений методом контактной точечной сварки по слою клея и грунта (клеесварных соединений).

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Классификация сварных конструкций с клеями и грунтами

Все сварные конструкции с клеями, или клеесварные конструкции, исходя из метода сварки можно подразделить на две основные группы. К первой группе относятся клеесварные конструкции, у которых клей нанесен на поверхность сварных швов, выполненных методами сварки плавлением. Ко второй группе относятся клеесварные конструкции, у которых клей нанесен под нахлестку соединений, выполненных методами контактной сварки (точечной или шовной).

По применяемой технологии изготовления клеесварные конструкции можно подразделить на выполняемые методом сварки по клею (клей наносится до сварки) и путем нанесения (введения) клея после сварки.

Клеесварные конструкции можно подразделить и по типу применяемой клеевой композиции — жидкой, пастообразной, пленочной, горячего отверждения, холодного отверждения. На рис. 6.1 дана схема классификации основных типов клеесварных конструкций, за основу которой приняты наличие или отсутствие сжимающего усилия при сварке и технология нанесения клеев.

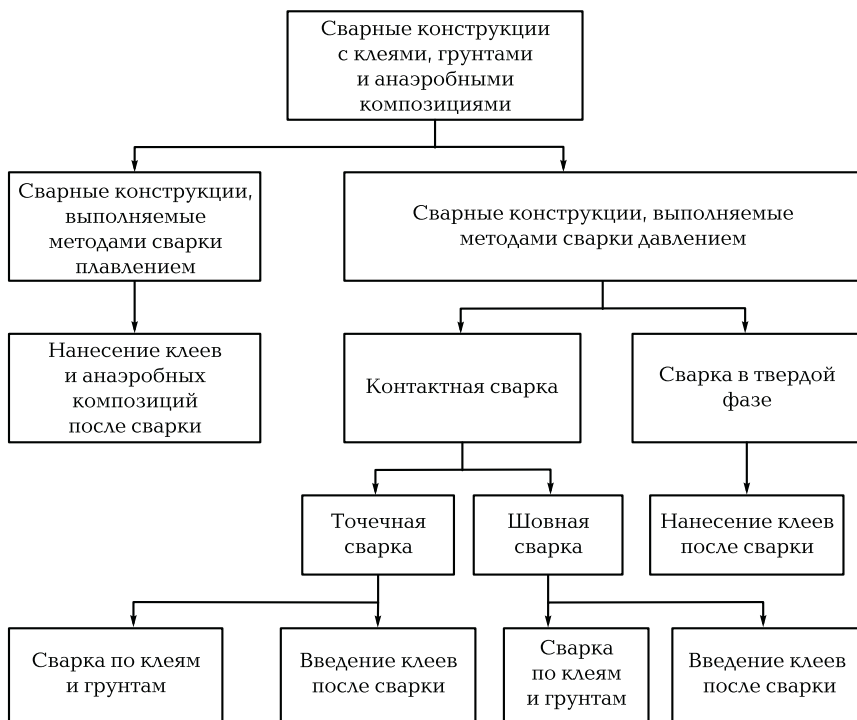


Рис. 6.1. Схема классификации основных типов сварных конструкций с клеями, грунтами и анаэробными композициями

Сварные соединения с грунтами — это особый тип комбинированных соединений, выполненных любым известным методом сварки. Грунты различного типа (собственно грунты, пасты, лаки, герметики) и анаэробные композиции наносят на поверхность сварных швов или вводят под нахлестку сварного соединения. При этом повышается коррозионная стойкость сварных соединений, их герметичность, а в ряде случаев и характеристики демпфирования конструкций.

Соединения с грунтами выполняют в основном методами контактной сварки (точечной или шовной), а соединения с анаэробными композициями — методами сварки плавлением (см. рис. 6.1).

Клеесварные конструкции можно изготавливать из магниевых, алюминиевых и титановых сплавов, а также из сталей всех типов. Анализ использования клеесварных конструкций в различных отраслях промышленности показал, что наибольшее применение находят конструкции из алюминиевых сплавов. Они составляют более 95 % общего объема клеесварных конструкций.

Из всех методов изготовления клеесварных конструкций наиболее широко применяют контактную точечную сварку.

Изготовление клеесварных соединений методом контактной точечной сварки практически равноценно обычным сварочным процессам по производительности, степени механизации процесса и его экономичности. Кроме того, клеесварные соединения сохраняют такие положительные качества клеевых соединений, как герметичность и равномерное распределение напряжений по сечению сварного соединения. При нагружении клеесварного соединения клеевая прослойка воспринимает часть напряжений, разгружая сварную точку. Такое перераспределение напряжений уменьшает их концентрацию у границ сварной точки, что приводит к повышению прочности конструкций.

В то же время наличие в клеевом шве местных, достаточно часто расположенных жестких связей в виде сварных точек, устраняет серьезный недостаток клеевых соединений — низкую работоспособность при неравномерном отрыве.

Клеесварные соединения по сравнению с обычными соединениями, например механическим креплением, сваркой или склеиванием, имеют следующие достоинства:

- более высокую циклическую прочность, что объясняется более равномерным распределением напряжений вокруг сварных точек благодаря наличию клея;
- снижение стоимости производства по сравнению с процессом склеивания, так как не требуется применение дорогостоящих автоклавов. Сварные точки в клеесварном соединении выполняют роль прижимов, фиксирующих соединение, поэтому не требуется применения дорогостоящей оснастки;
- обеспечиваются более благоприятные условия труда по сравнению с операциями сверления и клепания;
- коррозионная стойкость клеесварных соединений значительно выше, чем точечных сварных соединений;
- автоматически достигается герметизация сварных швов, тогда как при механическом креплении необходима дополнительная операция герметизации;
- легко обеспечивается требование получения гладких поверхностей, в то время как при механическом креплении обеспечение этого требования часто является сложной проблемой;

- напряжения в соединениях меньше и распределены более равномерно.

Клеесварные соединения в конструкциях можно принципиально выполнять двумя способами: сваркой по ранее нанесенному на сопрягаемые поверхности жидкому или пастообразному клею; нанесением жидкого клея после сварки в зазор сварного соединения (под нахлестку).

Первый способ изготовления клеесварных соединений обеспечивает возможность применения практически всех клеевых композиций (за исключением пленочных и небольшой части других), облегчает механизацию нанесения клеев и исключает образование непроклеев.

Недостатки этого способа связаны с тем, что клеевая прослойка обычно выдавливается с контактной площадки деталь — деталь неравномерно. В центре контакта она остается и при пропускании импульса тока сгорает, что приводит очень часто к образованию таких дефектов, как поры, трещины и т. д. Кроме того, в процессе изготовления узла свойства нанесенного под нахлестку клея меняются, в частности резко повышается вязкость клея, растет контактное сопротивление и соответственно ухудшаются условия сварки, что обуславливает необходимость жестких ограничений допустимого времени сварки узла. Последнее обстоятельство часто исключает возможность применения сварки по клею для крупногабаритных конструкций.

Второй способ изготовления клеесварных соединений более технологичен, особенно при изготовлении крупногабаритных конструкций, поэтому нашел наибольшее применение. Однако нанесение клея под нахлестку после сварки под действием капиллярных сил не является универсальным способом изготовления клеесварных соединений для конструкций любой геометрической формы. Этот способ может быть применен только для соединений, величина нахлестки у которых не превышает 30 мм. Кроме того, для заливки можно применять лишь некоторые марки клеев, имеющих низкую вязкость в момент приготовления. Обычно допустимое время нанесения клеев под нахлестку не превышает 30 мин с момента их приготовления. После этого срока клеи для нанесения после сварки не пригодны.

В США предложен новый способ нанесения клеев под нахлестку после сварки, характеризующийся тем, что после точечной сварки слой клея наносят вдоль края нахлестки и для интенсификации процесса деталь (или узел) помещают в печь. При нагреве

клей растекается и под действием капиллярных сил заполняет зазор под нахлесткой. Применение нагрева для снижения вязкости клея перед нанесением позволяет расширить номенклатуру марок клеев, используемых при этом методе изготовления клеесварных соединений. Клеи, которые невозможно ввести под нахлестку после сварки традиционными методами нанесения, при использовании кратковременного подогрева до 60 ... 100 °С вполне удовлетворительно заполняют нахлестки шириной до 18 мм. При этом процесс введения клея с подогревом с овмещается с его последующей полимеризацией.

Некоторые клеи могут быть получены только в виде пленки. Пленочные клеи имеют значительные преимущества, такие, как возможность полимеризации клея в любом пространственном положении, отсутствие выделения каких-либо газообразных составляющих при отверждении, равномерность толщины клеевого слоя, удобство и чистота при работе с клеем.

Однако при сварке по пленочным клеям встречаются определенные сложности. Пленочные клеи не выдавливаются с контактной площадки деталь — деталь при сжатии деталей между сферическими электродами.

Клей является электроизоляционным материалом, поэтому для обеспечения возможности сварки необходима предварительная операция просечки отверстий в клеевой пленке. Сварку проводят только в местах просечек в клеевой пленке. Изготовление клеесварных соединений с использованием клеевой пленки выполняют по следующей технологической схеме. Сначала подготавливают поверхность под сварку: в клеевой пленке просекают отверстия с шагом сварных точек и наносят ее на поверхность одной из соединяемых деталей. Затем детали собирают, фиксируют на контрольных болтах и проводят сварку строго по разметке в местах наличия просечек.

Недостатками сварки по пленочным клеям являются высокая трудоемкость, повышенные требования к точности сборки деталей и постановки сварных точек. Просечка отверстий в клеевой пленке также весьма сложная и трудоемкая операция. В связи с этим способ сварки по пленочным клеям не получил широкого применения.

## Технологическая схема изготовления

При изготовлении клеесварных конструкций путем нанесения (введения) клеев и грунтов под нахлестку свариваемых деталей перед

сваркой используют следующую последовательность технологических операций:

- предварительная сборка деталей, входящих в комплект узла (панели);
- подготовка поверхности под сварку;
- приготовление клея или грунта;
- нанесение клея или грунта на сопрягаемые поверхности;
- сборка узла (панели);
- сварка узла;
- отверждение (полимеризация) клея или сушка грунтов;
- контроль качества.

Изготовление клеесварных конструкций с введением клеев после сварки происходит в следующей последовательности технологических операций:

- предварительная сборка деталей, входящих в комплект узла (панели);
- подготовка поверхности под сварку;
- окончательная сборка узла (панели);
- сварка узла (панели);
- подготовка поверхности под склеивание; приготовление клея или грунта;
- нанесение (введение) клея или грунта под нахлестку после сварки;
- отверждение (полимеризация) клея или сушка грунта;
- контроль качества.

**Требования к клеям и грунтам.** К клеям, предназначенным для изготовления клеесварных конструкций предъявляются следующие общие требования: обеспечивать возможность сварки по сырому слою в течение полного цикла изготовления конструктивного элемента; не вытекать из-под нахлестки при полимеризации; обладать высокой проникающей способностью в малые зазоры (до 0,03 мм) при ширине нахлестки до 40 мм и вместе с тем достаточной тиксотропностью, чтобы не растекаться по панели; иметь температуру отверждения для конструкций из алюминиевых и магниевых сплавов ниже 120 °С, а для конструкций из титана и сталей — 180...250 °С; отверждаться при контактном давлении; обеспечивать возможность эксплуатации изделий в диапазоне температур от –60 до +120 °С.

Для конструкций одноразового использования основным требованием является сохранение высоких исходных прочностных свойств клея в течение 10—15 лет.

В конструкциях, работающих в космическом пространстве, к клеям предъявляются следующие требования: вакуумная стойкость; стойкость к длительному термоциклированию в диапазоне температур от  $-196$  до  $+200$  °С (в отдельных случаях даже до  $+300$  °С); стойкость к термоудару, действию радиации и ультрафиолетового излучения.

Клеи представляют собой природные или синтетические вещества, применяемые для соединения различных материалов. Склеивание происходит в результате отверждения клеевой прослойки при испарении растворителя из клея-раствора, охлаждения ниже температуры текучести клея-расплава или в результате химических превращений компонентов клея.

В зависимости от температуры отверждения все клеи подразделены на две подгруппы:

- холодного отверждения, т. е. не требующие технологического подогрева для отверждения;
- горячего отверждения, для отверждения которых необходим технологический подогрев до  $100 \dots 200$  °С.

При изготовлении клеесварных конструкций применяют следующие марки клеев холодного отверждения: КС-609, КЛН-1, ВК-9, КВС-4 и КАН-1. Все эти клеи можно применять для клеесварных конструкций, выполняемых методом сварки по клею, а клей КЛН-1 можно также вводить под нахлестку сварного соединения после сварки.

Клей КС-609 представляет собой композицию, состоящую из раствора бутилметакрилата, отвердителя (диметиланилина) и кварцевой муки, вводимой в качестве наполнителя. По своей химической природе клей является типичным термопластическим материалом с температурой размягчения  $80$  °С. Наполнитель и отвердитель вводят в заранее приготовленную основу клея непосредственно перед его использованием. Рабочая жизнеспособность клея после введения отвердителя при температуре  $18 \dots 25$  °С составляет  $3 \dots 6$  ч. Клей КС-609 отверждается при комнатной температуре в течение  $24 \dots 48$  ч без приложения дополнительного давления, обладает высокой пластичностью в отвержденном состоянии, нетоксичен и не склонен к старению.

Клей КЛН-1 представляет собой композицию из эпоксидной смолы ЭД-20, активного разбавителя (дифенилглицеდიлового эфира ДЭГ-1) и пластификатора (тиокола).

Клей КАН-1 представляет собой однокомпонентную систему на полиуретановой основе. Вязкость клея регулируется введением наполнителя и добавок. Отверждение происходит при комнатной температуре без приложения дополнительного давления. Клей КАН-1 позволяет производить промывку и щелочную обработку деталей непосредственно после сварки. Соединения с клеем КАН-1 обладают высокой водостойкостью и стойкостью к термовлажному старению.

При изготовлении клеесварных конструкций клеи горячего отверждения применяют более широко, чем клеи холодного отверждения. Это объясняется в первую очередь их лучшими прочностными свойствами и технологичностью, особенно при использовании метода введения клея после сварки.

В настоящее время применяют следующие клеевые композиции: ВК-1, ВК-1МС, К-4С, ВК-17, ВК-18, ВК-32ЭМ, ВК-32-200, ВК-36, ВК-37, ВК-39 и ФРАМ-30. Клеи ВК-32-200 и ФРАМ-30 применяют только для нанесения на поверхность сварных швов, выполненных сваркой плавлением. Клеи ВК-1, ВК-1МС, ВК-17 и ВК-39 можно использовать в соединениях, выполняемых как методом сварки по клею, так и введением клея после сварки. Клеи К-4С и ВК-18 можно применять только для соединений, выполняемых способом введения клея после сварки. Клеи ВК-32ЭМ, ВК-36 и ВК-37 можно применять только для соединений, выполняемых способом сварки по клею.

При изготовлении комбинированных сварных соединений применяют различные грунты, пасты, герметики и анаэробные композиции. Наиболее часто применяют грунты марок КФ-030, ГФ-031, ГФ-0114 и ФЛ-086, пасты АЛКМ-1 и К СП-1, герметик У30МЭС5 и анаэробные композиции ВАК марок А и Б.

Грунты предназначены для защиты от щелевой коррозии внутренних поверхностей нахлестки. Цинкохроматный грунт КФ-030 состоит из пигмента (цинковый крон), лака, масла, сиккатива и растворителя (ксилол, скипидар, уайтспирит). Грунт ГФ-031 состоит из пигмента (цинковый крон), молотого талька и лака ФХ-02. Глифталевый грунт ГФ-0114 содержит до 40 % цинкового крона, 20 % обезвоженного льняного масла и 40 % глифталевого лака на хлопковом масле. Благодаря содержанию в этом грунте значительного количества масла и отсутствию сиккатива замедляются процессы высыхания грунта под нахлесткой. По внешнему виду все грунты — это однородные маловязкие жидкости желто-зеленого цвета.

Паста АЛКМ-1 представляет собой смесь пигментов с касторовым маслом. По внешнему виду паста АЛКМ-1 — это однородная очень



густая масса светло-желтого цвета. Плотность пасты составляет  $1,05 \dots 1,1 \text{ г/см}^3$ . Паста поставляется в готовом к употреблению виде и предназначена для защиты от коррозии сварных конструкций из алюминиевых и магниевых сплавов, выполненных контактной сваркой.

Паста КСП-1 представляет собой смесь пигментов, наполнителей и кремнийорганического связующего с добавкой катализатора А-39, который вводят непосредственно перед использованием. По внешнему виду паста КСП-1 — это однородная густая масса желто-зеленого цвета с механическими включениями металлического порошка, ее плотность составляет  $1,05 \text{ г/см}^3$ . Паста предназначена для защиты во всех климатических условиях от коррозионных поражений сварных соединений, выполненных контактной сваркой (точечной и шовной), из сплавов типа ВНС2, 30ХГ СНА, а также из всех алюминиевых и магниевых сплавов.

Полисульфидный герметик У30МЭС5 представляет собой пастообразную массу черного цвета, которая после введения вулканизирующего агента и ускорителя превращается в резиноподобный материал. Герметик обеспечивает герметичность в условиях вибрации и повторно-переменных нагрузок в интервале температур от  $-60$  до  $+150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В состав герметика У30МЭС5 входят следующие компоненты: герметизирующая паста У30, вулканизирующая паста № 9, ускоритель — дифенилгуанидин. Герметик обладает хорошей адгезией к анодированным алюминиевым сплавам.

Герметик наносят на поверхность шприцем или шпателем, а при введении разбавителя — кистью. Герметик вулканизируется при температуре  $15 \dots 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , причем полная вулканизация достигается через  $10 \text{—} 15$  сут. Его плотность составляет  $1,4 \dots 1,5 \text{ г/см}^3$ . Контакт с герметиком не вызывает коррозии алюминиевых и магниевых сплавов.

Анаэробная композиция ВАК-5, марок А и Б представляет собой бесцветную или желтоватую жидкость, состоящую из неопределенных олигоэфиров и катализаторов.

Завод-изготовитель готовит композицию, расфасовывает в полиэтиленовую тару и поставляет потребителю в готовом к применению виде. Вязкость композиции ВАК-5 при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  не более  $15 \text{ сСт}$ , плотность —  $1,1 \text{ г/см}^3$ .

Композиция ВАК-5 предназначена для герметизации микропор размером до  $0,1 \text{ мм}$  в сварных швах, выполненных методами сварки плавлением алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, а также всех типов сталей.

## Способы подготовки поверхности

Для алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, а также для сталей возможно применение механических и химических способов подготовки поверхности под контактную сварку. При механической зачистке получается весьма шероховатая поверхность, покрытая очень мелкими, практически не удаляемыми частицами металла и разрушенных оксидных пленок. При сварке поверхности электродов и деталей в контакте электрод — деталь очень быстро загрязняются и, соответственно, быстро увеличивается переходное сопротивление, что резко уменьшает число точек, свариваемых без зачистки электродов. Соответственно снижается и производительность сварки. Поэтому все типы механической зачистки поверхности можно рекомендовать лишь как исключение для опытного производства. Для стабилизации процесса сварки, увеличения числа сварок до зачистки электродов, а также повышения коррозионной стойкости сварных точек в местах отпечатков от электродов (особенно для магниевых сплавов) подготовку поверхности под сварку необходимо выполнять только химическим способом.

### Механизм формирования контакта деталь—деталь при сварке по слою клея (грунта)

В процессе формирования контакта при обжатии деталей под действием электродов контактной машины можно выделить несколько стадий. На первой стадии происходит преодоление конструктивной жесткости и устранение зазоров; сближающиеся плоские поверхности становятся параллельны друг другу. Выдавливание клеев и грунтов с поверхности контакта происходит только под действием массовой силы, возникающей при сближении поверхностей.

На второй стадии начинается формирование контакта деталь — деталь. На этой стадии под действием все возрастающего усилия сжатия не только сближаются сложенные внахлестку детали, но и деформируются (выгибаются) их контактные поверхности. Возникающее напряжение сдвига вызывает образование зоны проскальзывания на периферии контакта. В этой зоне в результате взаимного перемещения поверхностей уплотняется стык, и средняя толщина зазора уменьшается в 3—5 раз. Это приводит к тому, что клей и грунты выдавливаются за пределы контактной площадки. В случае, когда усилие на электродах нарастает медленно, проскальзывание

должно происходить почти по всей поверхности контакта. Однако в действительности усилие нарастает относительно быстро и благодаря образованию в центре контактной площадки зоны всестороннего сжатия микросдвиги отсутствуют.

После нанесения клеев, грунтов, паст и герметиков детали сжимали при различной скорости возрастания усилия сжатия на начальной стадии сварочного цикла без пропуска импульса тока. Затем детали разнимали и визуально наблюдали характер распределения клеев, грунтов, паст и герметиков на поверхности контакта деталь — деталь. Установлено, что при проведении циклов со скоростью возрастания усилия сжатия 12 ... 30 кН/с клеи, грунты, пасты и герметики с контактной площадки деталь — деталь выдавливаются неравномерно. В центре они частично остаются. Увеличение усилия сжатия или введение цикла с усилием предварительного обжатия не изменяет характер распределения клеев, грунтов, паст и герметиков на контактной площадке и не уменьшает их количества в центре контакта.

Установлено, что чем меньше скорость возрастания усилия сжатия, тем более полно выдавливается клей, грунт, паста и герметик с контактной площадки деталь — деталь.

Начальная скорость возрастания усилия сжатия, необходимая для полного выдавливания, зависит от природы жидкой прослойки и диаметра контактной площадки деталь — деталь. Например, для пары листов толщиной (1 + 1) мм полное выдавливание наблюдается при скорости возрастания усилия сжатия не более 5000 Н/с для грунтов марки ГФ-0114; не более 2500 Н/с для клеев марки ВК-1МС; не более 4000 Н/с для паст марки КСП-1.

Выдавливание клеев и грунтов с контактной площадки деталь — деталь зависит от параметров силового цикла сварки. Однако на степень выдавливания, а следовательно, и на качество сварки по клеям и грунтам определенное влияние оказывает также ряд факторов, зависящих от физико-химических свойств клеев и грунтов, энергетических параметров сварочного цикла, микрогеометрии контактируемых поверхностей и т. д.

Свойства применяемых клеев и грунтов обуславливают возможность осуществления процесса сварки, а также качество получаемых сварных соединений. Из всего комплекса физико-химических свойств клеев и грунтов основное влияние на качество сварки оказывают механизм адгезионного взаимодействия на границе раздела клей (грунт) — поверхность металла; исходная вязкость клея или грунта и ее изменение во времени; реологическая природа клея или грунта.

Чем выше уровень адгезионного взаимодействия клеев или грунтов на границе с поверхностью металла, тем лучше эксплуатационные свойства соединений, однако тем труднее обеспечить выдавливание их с контактной площадки и получить соединение требуемого качества.

Увеличение объема микропустот в контакте деталь — деталь или некоторого количества невыдавленных клеев или грунтов может оказать влияние на качество сварных соединений. Это объясняется тем, что при пропускании импульса сварочного тока невыдавленные клеи или грунты частично или полностью сгорают. При этом неизбежно образование газообразных и твердых продуктов сгорания, которые остаются в литом ядре и вызывают образование шлаковых включений и трещин.

Следовательно, для получения качественных сварных соединений при сварке по клеям и грунтам необходимо регламентировать микрогеометрию контактируемых поверхностей.

Ориентировочные режимы контактной точечной сварки алюминиевых сплавов по клеям и грунтам приведены в табл. 6.1 и 6.2. Приведенные режимы отличаются более плавным нарастанием импульса тока и несколько повышенным усилием сжатия при сварке. Плавное нарастание импульса тока достигается применением конденсаторных батарей и наиболее высокого коэффициента трансформации.

**Таблица 6.1. Ориентировочные режимы контактной точечной сварки алюминиевого сплава Д16Т по клеям и грунтам на конденсаторной машине МТК-8004**

Толщина деталей, мм	Радиус сферы электродов, мм	Усилие сжатия электродов, кН		Запаздывание включения ковочного усилия, с	Сила сварочного тока, кА	Длительность нарастания силы тока, с	Электрические параметры машины МТК-8004	
		сварочное	ковочное				Напряжение, В	Емкость батареи, мкФ
0,8 + 0,8	50	3,5	7	0,06	30	0,05	155	158 000
1 + 1	75	4	8	0,06	32	0,05	160	158 000
1,2 + 1,2	100	5	11	0,06	39	0,05	175	158 000

Толщина деталей, мм	Радиус сферы электродов, мм	Усилие сжатия электродов, кН		Запаздывание включения ковочного усилия, с	Сила сварочного тока, кА	Длительность нарастания силы тока, с	Электрические параметры машины МТК-8004	
		сварочное	ковочное				Напряжение, В	Емкость батареи, мкФ
1,5 + 1,5	100	6,5	14	0,09	46	0,08	185	315 000
2 + 2	100	8,5	18	0,09	54	0,08	130	315 000
1 + 1,5	75; 100	5	11	0,06	37	0,05	170	158 000
1,5 + 2	100; 150	8	17	0,09	51	0,08	215	315 000

Примечания: 1. Коэффициент трансформации 84.

2. Время сжатия до пропускания импульса тока более 0,2 с.

**Таблица 6.2. Ориентировочные режимы контактной точечной сварки алюминиевого сплава Д16Т по клеям и грунтам на низкочастотных машинах типа МТПТ-400**

Толщина деталей, мм	Радиус сферы электродов, мм	Усилие сжатия электродов, кН		Запаздывание включения ковочного усилия, с	Параметры тока	
		сварочное	ковочное		Амплитуда, кА	Длительность протекания, с
0,8 + 0,8	75	4	8	0,06	28	0,06
1 + 1	100	5	10	0,08	36	0,08
1,2 + 1,2	100	6	14	0,08	40	0,08
1,5 + 1,5	100	8	18	0,12	49	0,1
2 + 2	150	9,5	20	0,16	57	0,14

Толщина деталей, мм	Радиус сферы электродов, мм	Усилие сжатия электродов, кН		Запаздывание включения ковочного усилия, с	Параметры тока	
		сварочное	ковочное		Амплитуда, кА	Длительность протекания, с
1 + 1,5	75; 100	5,5	11	0,18	35	0,08
1,5 + 2	100	7	15	0,12	47	0,1

Примечания: 1. При сварке по клеям типа ВК-1МС и ВК-39 время опускания электрода 0,5... 1 с (в зависимости от толщины деталей), при сварке по грунтам типа ГФ-0114 — 0,2... 0,5 с.

2. Время сжатия до пропускания импульса тока более 0,2 с.

## Процесс формирования клеесварного соединения при введении клеев после сварки

Одним из методов получения клеесварных соединений является нанесение (введение) клеев в зазор под нахлестку между двумя деталями после контактной точечной сварки. Этот метод называют капиллярным. Сущность его заключается в том, что на кромки сварного точечного нахлесточного соединения с помощью специального шприца наносится равномерный валик клея (рис. 6.2). Клей проникает в полость нахлестки под действием сил капиллярного давления и силы тяжести. Для введения клея после сварки необходим определенный зазор под нахлесткой сварного соединения и смачивание поверхности детали нанесенным клеем.

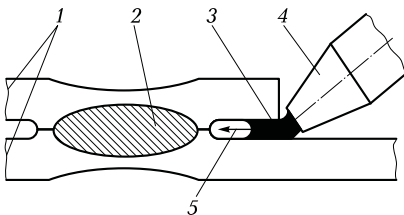


Рис. 6.2. Схема введения клея в зазор под нахлестку:

- 1 — свариваемые детали; 2 — литое ядро сварной точки;
- 3 — клей; 4 — шприц с клеем;
- 5 — результирующая сила капиллярного давления

В связи с тем что при контактной точечной сварке всегда образуются зазоры между деталями, а растворы синтетических клеев смачивают обезжиренные поверхности металла, можно использовать силы капиллярного давления для введения клеев в зазоры сварных соединений.

Для жидкости, находящейся в зазоре между двумя параллельными пластинами, расположенными на расстоянии  $d$ , силу капиллярного давления приближенно определяют по формуле

$$p = (2\alpha \cos \theta) / d, \quad (6.1)$$

где  $\theta$  — краевой угол;  $\alpha$  — коэффициент поверхностного натяжения.

Отсюда следует, что действие силы капиллярного давления тем сильнее, чем больше коэффициент поверхностного натяжения, меньше краевой угол и меньше зазор между свариваемыми деталями. В действительности закономерность проникновения клея в зазор значительно сложнее описанных.

Процесс сварки по клею универсален и позволяет использовать практически все клеи, гарантирует полное заполнение клеем полости нахлестки и может быть использован для соединений деталей любой геометрической формы.

Опыт изготовления клеесварных соединений показал, что способ нанесения клеев после сварки более технологичен, так как процессы сварки и склеивания разделены и могут быть выполнены в отдельных, специально оборудованных помещениях. Это существенно облегчает процесс контактной сварки и дает возможность расширить фронт работ, а при серийном изготовлении — запустить в производство крупные партии сварных конструкций.

Возможность разделения процесса на узкоспециализированные операции позволяет повысить качество соединений и производительность труда. В связи с этим способ нанесения клеев после сварки нашел широкое применение при получении клеесварных соединений, особенно в крупногабаритных узлах с длинными узкими профилями, соединенными с обшивкой точечной сваркой. Применение этого способа обеспечивает возможность проведения различной химической подготовки поверхности после сварки до введения клея (анодирование, оксидирование и т. д.) в целях повышения коррозионной стойкости клеесварных соединений.

Недостатками способа введения клеев после сварки являются ограничения по геометрическим размерам сварных соединений и повышенные требования к физическим характеристикам применяемых клеев. Например, при необоснованном выборе клеев для нанесения после сварки в условиях серийного производства воз-

можно возникновение непроклеев, т. е. мест под нахлесткой сварных соединений, куда не проникал клей после его нанесения. Наиболее часто такой дефект отмечается при использовании клея КЛН-1, поэтому в производственных инструкциях даже установлена допустимая величина непроклеев. Например, в случае применения клея КЛН-1 допускаются непроклеи до 30 % площади нахлестки. Наличие непроклеев снижает прочностные свойства клеесварных соединений. Кроме того, длительное время считалось, что непроклеи должны привести к резкому снижению коррозионной стойкости клеесварных соединений из-за диффузионного проникновения влаги именно в эти места.

Результаты проведенных в последнее время исследований показали, что прочностные свойства клеесварных соединений, выполненных сваркой по клею и нанесением клеев после сварки, практически одинаковы. Коррозионные свойства соединений, выполненных введением клеев после сварки, при применении специальных способов подготовки поверхности под склеивание (что допускает только этот способ) значительно выше, чем при сварке по клею.

Таким образом, введение клеев после сварки нельзя рассматривать как универсальный способ для получения соединений любой конфигурации и с любым клеем. Каждый способ имеет свои достоинства и недостатки, и выбирать оптимальный вариант следует только применительно к конкретной конструкции с учетом серийности ее изготовления и к ультуре производства на предприятии. Основными факторами выбора способа получения клеесварных соединений являются геометрические размеры нахлестки и физико-химические свойства клея.

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Оборудование и материалы

Для выполнения работы используются следующие приборы, материалы и инструменты:

- машина для контактной точечной сварки;
- заготовки для сварки образцов из алюминиевых сплавов;
- справочник для выбора параметров режима сварки;
- слесарные инструменты (ножовка, тиски, напильники, молоток);



- бинокулярный микроскоп типа МБС-9;
- паста КСП-1;
- клей КЛН-1;
- оборудование для изготовления макрошлифов;
- муфельная печь;
- шприц для введения клея под нахлестку.

## Последовательность выполнения работы

1. Выбрать параметры режима сварки образцов по справочнику.
2. Установить выбранные параметры режима сварки на пульта управления машины для контактной точечной сварки.
3. Подготовить пасту КСП-1 в соответствии с инструкцией к ней.
4. Нанести пасту КСП-1 на поверхность первой пары свариваемых образцов в зоне нахлестки. Для второй пары образцов увеличить время между нанесением пасты и моментом сварки. Для этого мастер производственного обучения готовит специальные образцы, у которых время после нанесения пасты до сварки составляет более 12 ч.
5. При помощи бинокулярной лупы исследовать поверхность излома соединения. Отметить наличие или отсутствие дефектов в соединении в виде слипаний и не удаленных из стыка оксидных пленок. Зафиксировать наличие выдавливания пасты из зоны сварки под действием усилия сжатия электродов.
6. При необходимости произвести корректировку режима сварки.
7. Выполнить сварку контрольного образца.
8. Разметить сваренный образец для изготовления макрошлифа так, чтобы линия реза ножовкой была смещена относительно оси сварной точки на толщину ножовочного полотна.
9. Произвести разрезание сваренного образца по разметке.
10. Обработать поверхность реза напильником и затем на станке для изготовления макрошлифов.
11. Произвести травление поверхности шлифа реактивом для алюминиевых сплавов типа Д16Т. При травлении поверхность шлифа протереть ватным тампоном, смоченным в растворе, до выявления макроструктуры.
12. Зарисовать структуру полученного соединения.
13. Произвести сварку образцов, изменяя величину скорости нарастания усилия сжатия электродов. Отметить влияние этого параметра на формирование сварного соединения.
14. Произвести сварку образца без применения пасты.

15. Затем произвести введение клея КЛН-1 с помощью шприца под нахлестку. Для интенсификации процесса проникновения клея образец поместить в муфельную печь, нагретую до 110 °С.

16. С помощью зубила разрушить сварное соединение и отметить глубину проникновения клея в зазор между листами образца.

## Содержание отчета

Отчет о выполненной лабо раторной работе должен содержать следующие основные сведения и результаты.

1. Название и цель работы.
2. Характеристики материалов и размеры образцов.
3. Выбранные параметры режима сварки.
4. Параметры режима сварки после корректировки.
5. Эскизы сечения макрошлифа образцов с указанием конфигурации соединения и наличия дефектов. На эскизах необ ходимо указать зону выдавливания пасты КСП-1 из области сварки.
6. Эскиз образца с нанесенным после сварки клеем с указанием глубины проникновения клея К ЛН-1 в полость нахлестки между сваренными листами.
7. Выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Каким образом классифицируют клеесварные конструкции?
2. Какие две группы клеесварных конструкций выделяют?
3. В чем состоят достоинства клеесварных конструкций?
4. Какие способы существуют для изготовления клеесварных конструкций?
5. Какие клеи применяются для изготовления клеесварных конструкций?
6. Перечислите требования к клеям.
7. Перечислите основные марки клеев и области их применения.
8. Перечислите основные марки грунтов для клеесварных конструкций.
9. Охарактеризуйте особенности подготовки поверхности под нанесение клеев и грунтов.
10. Каковы особенности формирования соединения при контактной точечной сварке по слою клея?
11. Какие факторы определяют качество сварки по слоям клея и грунтам?

# ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ ПОДВЕСНОЙ ТОЧЕЧНОЙ МАШИНЫ МТП-1409

Целью работы является изучение конструкции и работы механических и электрических узлов и систем подвесной точечной машины МТП-1409 и их совместного взаимодействия, а также приобретение навыков по наладке машины для работы.

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Назначение и основные технические характеристики машины МТП-1409

Из обозначения марки машины следует, что это машина точечная подвесная (МТП), девятой моде ли (09) с наибольшим вторичным током 14 кА (14).

Машина изготавливается в следующих климатических исполнениях:

УХЛ4 — для работы в районах умеренного климата при температуре воздуха 1...35 °С с относительной влажностью менее 80 % при температуре 25 °С;

04 — для работы в районах тропического климата при температуре воздуха 1...45 °С с относительной влажностью 98 % при температуре 35 °С.

#### Основные технические характеристики машины МТП-1409

Номинальное напряжение сети, В .....	380
Номинальная частота тока, Гц.....	50
Наибольшая сила вторичного тока, А.....	14 000
Номинальная сила сварочного тока, А.....	12 500

Номинальная мощность, кВт.....	170
Число ступеней регулирования тока .....	6
Номинальная ступень.....	6
Сопротивление вторичного контура постоянному току, мкОм, не более.....	450
Номинальное давление сжатого воздуха, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) .....	0,59(6)
Свариваемые толщины низкоуглеродистой стали, мм .....	От (0,5 + 0,5) до (4 + 4)

## Устройство и работа пневмогидравлического привода сжатия электродов машины МТП-1409

Схема привода сжатия электродов машины МТП-1409 приведена на рис. 7.1. Сжатый воздух подается к машине по тр убопроводу и после входного вентиля поступает в фильтр 1, где очищается от механических загрязнений и влаги. Из филь тра воздух поступает в воздушный редуктор 2, который обеспечивает плавное регулирование давления сжатого воздуха и, следовательно, плавное регулирование силы сжатия клещей, что необ ходимо при сварке деталей разных толщин. Каждой контактной машине соответствует таблица или график, по к оторым, зная усилие сжатия электродов, можно определить необходимое для этого давление сжатого воздуха.

После редуктора в маслораспылителе 3 воздух насыщается мелкими каплями масла, которое необходимо для смазывания цилиндра пневмогидравлического устройства 6 и снижения силы трения между поршнем и цилиндром.

Из маслораспылителя воздух поступает в пневмоэлектрический клапан 4, который управляется электрическими сигналами, поступающими из регулятора цикла сварки (РЦС).

Пневмоэлектрический клапан 4 в соответствии с командами из РЦС подает сжатый воздух в верхнюю или нижнюю полость пневмогидравлического устройства 6, конструкция которого показана на рис. 7.2.

Пневмогидравлическое устройство 6 (см. рис. 7.1) обеспечивает получение масла высокого давления. Для сжатия клещей из РЦС подается питающее напряжение на электромагнит пневмоэлектрического клапана 4, который направляет воздух в верхнюю камеру пневмогидравлического устройства 6.

Под давлением воздуха поршень 2 (см. рис. 7.2) перемещается вниз с усилием, равным произведению давления воздуха на площадь поршня. Шток поршня 2 передает усилие на масло, находящееся в

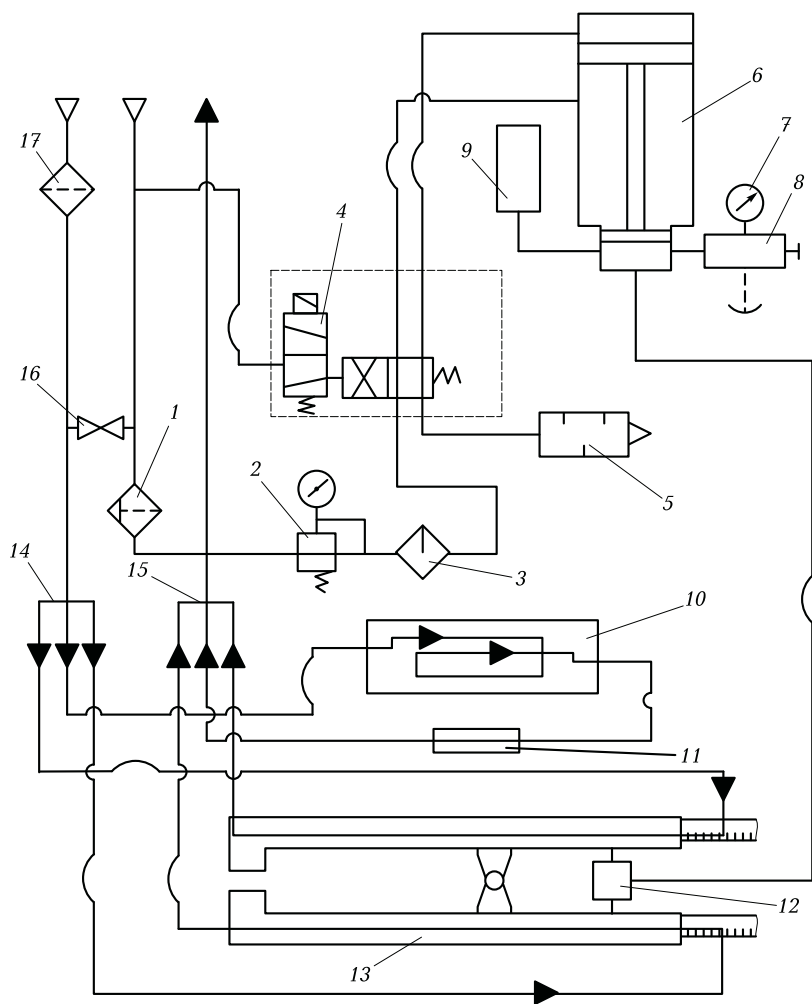


Рис. 7.1. Схема привода сжатия электродов и системы охлаждения машины МТП-1409:

- 1 — воздушный фильтр; 2 — редуктор; 3 — маслораспылитель; 4 — пневмоэлектрический клапан; 5 — глушитель; 6 — пневмогидравлическое устройство; 7 — манометр; 8, 16 — краны; 9 — резервуар для масла; 10 — трансформатор; 11 — шина; 12 — гидроцилиндр; 13 — клещи; 14 — распределитель; 15 — коллектор; 17 — водяной фильтр

стакане 6, создавая в нем высокое давление. Давление масла превышает давление воздуха во столько раз, во сколько раз площадь поршня больше площади штока (в 10 — 20 раз).

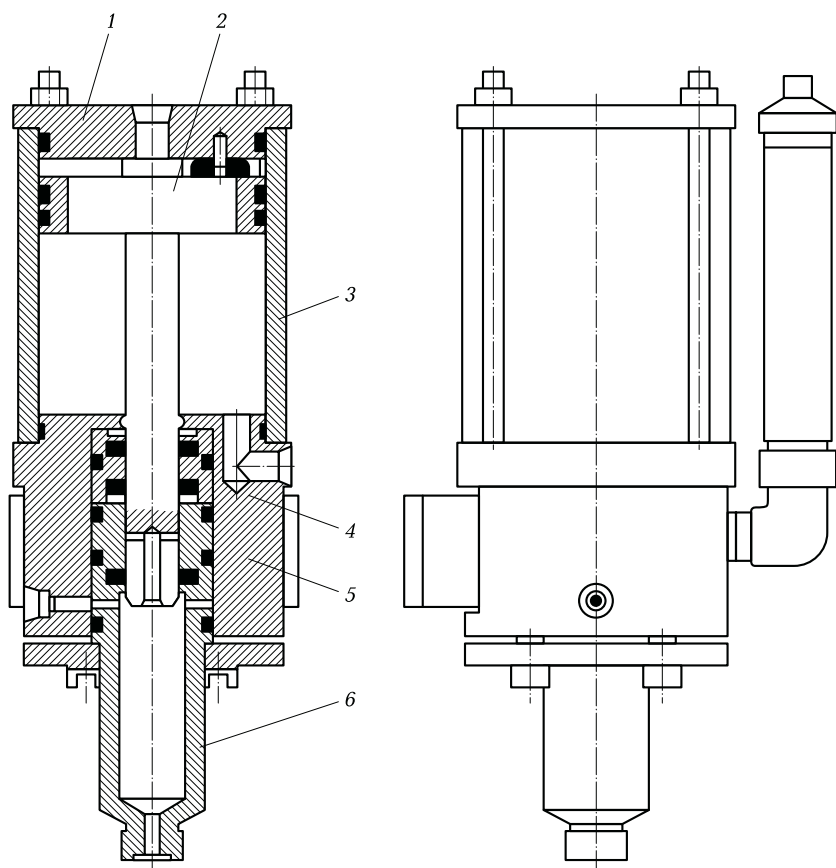


Рис. 7.2. Пневмогидравлическое устройство:

1 — крышка; 2 — поршень; 3 — цилиндр; 4 — втулка; 5 — корпус; 6 — стакан

Масло высокого давления подается в гидроцилиндр 12 на клещах 13 (см. рис. 7.1), который обеспечивает сжатие клещей. Применение масла высокого давления позволяет получить нужные усилия сжатия клещей при малом диаметре и весе гидроцилиндра на клещах, что облегчает работу оператора.

Если на клещах использовать пневмоцилиндр, питаемый сжатым воздухом невысокого давления (0,6 МПа, или 6 атм), то из-за больших размеров и веса пневмоцилиндра клещи станут тяжелыми, что затруднит ручное управление для оператора. Облегчая клещи, пневмогидравлический привод имеет недостатки по сравнению с пневмоприводом:

- теряет работоспособность при утечке масла;
- является более инерционным из-за более медленного перемещения масла по маслопроводу, чем сжатого воздуха по подводящим шлангам;
- требует постоянного поддержания уровня масла в системе, теряемого из-за утечек и испарения.

Для разжатия клещей РЦС выключает напряжение с пневмоэлектрического клапана, который переключает подачу воздуха из верхней камеры пневмогидравлического устройства в нижнюю, при этом поршень поднимается вверх, отсасывая масло из гидроцилиндра. Поршень гидроцилиндра при этом перемещается в разжатие под действием сжатого воздуха, который постоянно подается в камеру над поршнем, выполняя роль пневмопружины.

## Вторичный контур машины

Вторичным контуром, или сварочной цепью, машины называется совокупность элементов, по которым сварочный ток подается от сварочного трансформатора к свариваемым деталям.

На машине МТП-1409 (рис. 7.3) вторичный контур включает в себя токоведущие кабели, консоли и электрододержатели клещей, электроды.

## Система охлаждения машины

Система охлаждения необходима для устранения перегрева элементов вторичного контура при протекании по ним сварочного тока (см. рис. 7.1). Вода из фильтра 17 поступает в распределитель 14, из которого растекается по трем направлениям.

В сварочном трансформаторе вода охлаждает вторичный виток, протекая по трубке, припаянной к нему. По двум другим трубам вода поступает в сварочные кабели, находящиеся в резиновых шлангах. Охлаждение кабеля водой позволяет снизить его поперечное сечение, что снижает вес и повышает гибкость. Далее из шлангов вода поступает в клещи, охлаждая консоли и электроды. Отработанная вода поступает в коллектор 15, а из коллектора — на слив. Слив является открытым для визуального контроля за протеканием воды.

Тиристоры, входящие в тиристорный контактор, имеют воздушное охлаждение, для чего они располагаются на специальных радиаторах. Температура нагрева радиаторов тиристоров контролируется термо-

датчиком, который имеет контакт в цепи пусковой кнопки машины. При перегреве тиристоров данный контакт размыкается, чем препятствует включению машины.

## Сварочный трансформатор

Сварочный трансформатор содержит первичную и вторичную обмотки и ферромагнитный сердечник (см. рис. 7.3).

Первичная обмотка, подсоединяемая к сети, секционирована, что позволяет ступенчато (грубо) регулировать сварочный ток. С использованием коэффициента трансформации можно записать соотношение

$$K_T = w_1/w_2 = U_1/U_2, \quad (7.1)$$

где  $w_1$  и  $w_2$  — число витков первичной и вторичной обмоток;  $U_1$  и  $U_2$  — первичное и вторичное напряжения.

Сварочный ток создается напряжением  $U_2$ , величина которого определяется из соотношения

$$U_2 = U_1 (w_2/w_1). \quad (7.2)$$

Регулирование силы сварочного тока производится изменением числа витков первичной обмотки  $w_1$ , так как напряжение сети  $U_1$

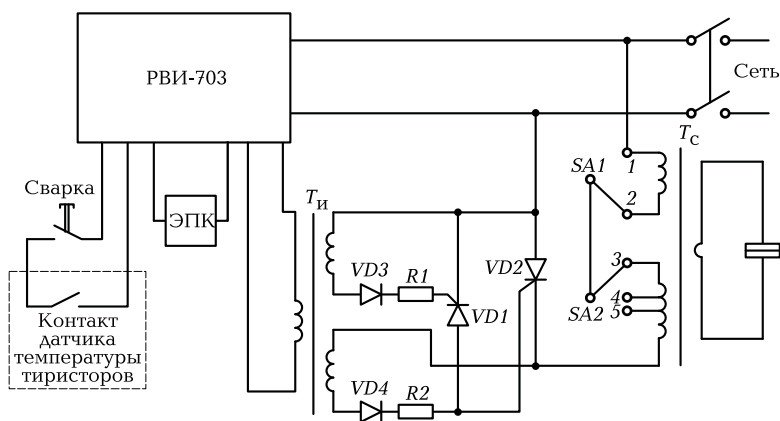


Рис. 7.3. Функциональная схема подвесной точечной машины МТП-1409:

$T_n$ ,  $T_c$  — импульсный и сварочный трансформаторы;  $VD1$ — $VD4$  — диоды;  $R1$ — $R2$  — сопротивления;  $SA1$ — $SA2$  — переключатели ступеней машины; 1—5 — ступени вторичного контура; ЭПК — электропневмоклапан



постоянно, а  $w_2 = 1$  или  $w_2 = 2$  исходя из конструкции трансформатора. При уменьшении  $w_1$  величина  $U_2$  возрастает, что по закону Ома вызывает увеличение силы сварочного тока, а при уменьшении — наоборот.

## Тиристорный контактор

Контактор состоит из двух тиристоров  $VS1$  и  $VS2$ , которые включены встречно-параллельно в первичную обмотку сварочного трансформатора.

При положительном аноде и отрицательном катоде тиристор готов к включению. Включение тиристора происходит при подаче положительного импульса тока на управляющий электрод при положительном аноде.

Управляющие импульсы подаются на тиристоры из регулятора цикла сварки через импульсный трансформатор  $T_{и}$  и диоды  $VD1$  и  $VD2$ . Электрическая диаграмма работы тиристорного контактора отражает принцип регулирования сварочного тока (рис. 7.4).

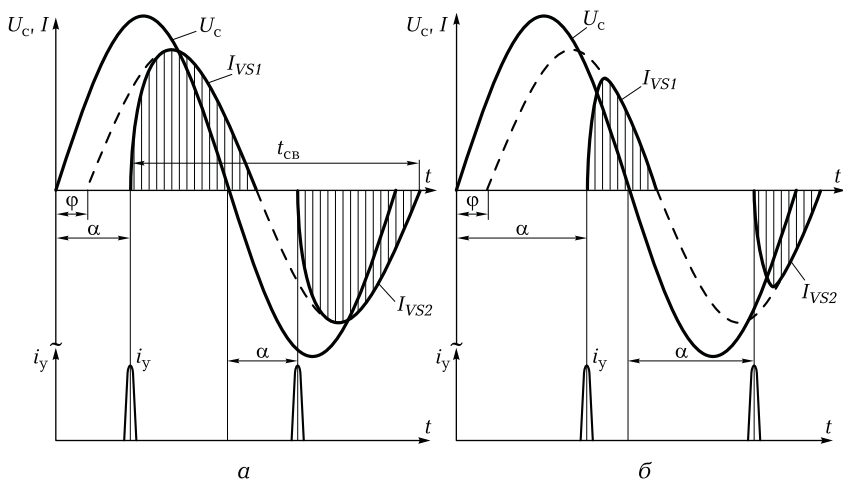


Рис. 7.4. Диаграммы работы тиристорного контактора при различных значениях угла включения тиристора:  
 а —  $\alpha < 90^\circ$ ; б —  $\alpha > 90^\circ$ ;  $U_c$  — напряжение сети;  $I_{VS1}$ ,  $I_{VS2}$  — сила тока через тиристоры  $VS1$  и  $VS2$ ;  $i_y$  — импульсы управления тиристорами;  $t_{св}$  — время сварки;  $\varphi$  — угол сдвига фаз между током и напряжением;  $\alpha$  — угол включения тиристора

Внизу приведена диаграмма управляющих импульсов  $i_y$ , а сверху — заштрихованные части представляют диаграмму тока в первичной цепи сварочного трансформатора, протекающего через тиристоры.

Для протекания переменного тока через первичную обмотку сварочного трансформатора необходимы два тиристора, так как один тиристор работает только половину периода.

Угол  $\alpha$  называется углом включения тиристора. Управляющие импульсы  $i_y$  можно смещать относительно нулевой точки напряжения сети, т. е. угол  $\alpha$  можно менять. При смещении  $i_y$  влево ( $\alpha$  уменьшается) тиристор в пределах полупериода будет включаться раньше, следовательно, сила тока (заштрихованная область) будет возрастать; при смещении  $i_y$  вправо тиристор будет включаться позже в пределах полупериода и величина тока будет уменьшаться.

Тиристорный контактор служит для включения и выключения сварочного тока, а также для его регулирования путем смещения во времени управляющих импульсов, подаваемых на тиристор.

## Расшифровка символов и обозначений на панели регулятора РВИ-703

Рассмотрим символы и обо значения на панели регулятора РВИ-703 (рис. 7.5).

Переключатель 38 в верхнем положении — работа с одиночным циклом сварки. Для повторения необходимо отпустить педаль «Свар-

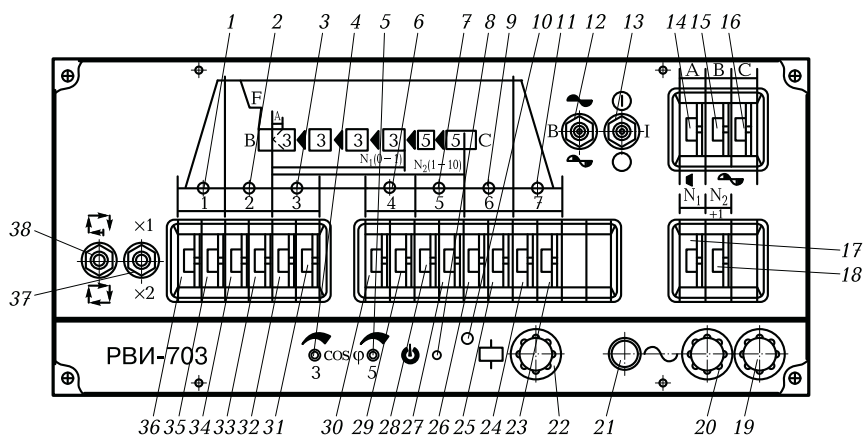


Рис. 7.5. Расположение элементов на панели управления регулятора

ка» и снова ее нажать. Переключатель 38 в нижнем положении — работа с автоматическим повторением циклов сварки при постоянно нажатой педали «Сварка».

Переключатель 37 для измерения длительности временных выдержек сварного цикла. В положении «x2» длительность временных выдержек удваивается по сравнению с установленной.

Поз. 1 — 3, 6, 7, 9, 11 — временные выдержки сварочного цикла:

1 — время «предварительного сжатия», которое при автоматическом цикле работы исключается;

2 — время «сжатия», при котором усилие стабилизируется до заданного уровня;

3 — длительность протекания тока «Импульс 1»;

6 — время паузы между импульсами тока;

7 — длительность протекания тока «Импульс 2»;

9 — время проковки;

11 — время паузы между циклами сварки в автоматическом режиме работы.

Контроль отработки каждой временной выдержки выполняется светодиодами.

Поз. 23 — 36 — переключатели временных выдержек сварочного цикла в периодах переменного тока.

Поз. 12 — переключатель на фазовое (плавное) регулирование сварочного тока или на полнофазное (максимальное) включение сварочного тока.

Полнофазное включение имеет место, когда угол включения тиристоров  $\alpha$  очень мало отличается от угла сдвига фаз  $\varphi$ , но при этом выполняется соотношение  $\alpha > \varphi$ . Полнофазное включение устанавливается автоматически и только для тока «Импульс 1».

Фазовое регулирование позволяет изменять ток в пределах 50... 100 % от максимального тока ступени.

Поз. 14 — 16 — регуляторы тока:

14 — модуляция (плавное нарастание) первого импульса тока;

15 — регулирование тока «Импульс 1»;

16 — регулирование тока «Импульс 2».

Поз. 17, 18 — регуляторы количества импульсов тока:

17 — регулятор количества импульсов «Импульс 1»;

18 — регулятор общего количества импульсов: «Импульс 1» + «Импульс 2».

Для регулятора 18 количество выполненных импульсов будет на один больше установленного.

Пример. Регулятор 17 находится в положении «2», а регулятор 18 — в положении «3».

Общее количество импульсов тока четыре, из них два — для тока «Импульс 1» и два — для тока «Импульс 2».

Поз. 19, 20 — предохранители в цепи питания регулятора.

Поз. 21 — контроль напряжения сети.

Поз. 22 — предохранитель питания пневмоэлектрического клапана.

Поз. 10 — пневмоэлектрический клапан.

Поз. 8 — машина готова к сварке. При этом контакт датчика температуры нагрева тиристоров замкнут.

Поз. 4, 5 — подстройка под  $\cos \alpha$ :

4 — для тока «Импульс 1»;

5 — для тока «Импульс 2».

Поз. 13 в положении «1» — цикл с током, в положении «0» — без тока.

## Функции регулятора цикла сварки РВИ-703

Регулятор цикла сварки РВИ-703 обеспечивает управление тиристорным контактором и пневмоэлектрическим клапаном. Управление тиристорным контактором позволяет осуществлять следующие режимы по сварочному току:

- подачу от 1 до 10 импульсов сварочного тока («Импульс 1» + «Импульс 2»);
- отдельную регулировку силы тока «Импульс 1» и «Импульс 2»;
- отдельную регулировку длительности указанных импульсов;
- плавное нарастание первого импульса тока (модуляцию);
- автоматический выход на полнофазный ток;

## Настройка регулятора цикла сварки РВИ-703 на режим сварки

Установка временных выдержек цикла сварки выполняется в периодах переменного тока. Например, нужно установить время паузы 0,39 с. Так как период при частоте 50 Гц составляет 0,02 с, то указанное время составляет 19,5 периодов. На регуляторе можно установить только целое число периодов переменного тока, т. е. 19 или 20. Каждая временная выдержка устанавливается двумя регуляторами, левый устанавливает десятки периодов, правый — единицы.

Временные выдержки «Предварительное сжатие» и «Сжатие» нужно установить такими, чтобы электроды успели сжать детали до протекания сварочного тока, что связано с инерционностью привода сжатия. Чем больше инерционность привода сжатия, тем больше должны быть указанные временные выдержки.

Длительность импульсов сварочного тока и сила тока в импульсах зависят от типа материала и его толщины и определяются по справочным данным или экспериментально.

Время проковки необходимо для процесса кристаллизации ядра точки. Чем меньше ядро точки, тем меньше можно устанавливать время проковки. Кроме того, время проковки можно уменьшать, если привод сжатия имеет большую инерционность.

Время паузы следует устанавливать таким, чтобы можно было успеть переместить детали на нужный шаг между точками в автоматическом режиме сварки. Отдельные временные выдержки цикла можно исключить путем установки соответствующего регулятора в нулевое положение.

При включении сварочного тока пусковую кнопку нужно держать до конца отработки выдержки «Сжатие». При более раннем отпуске пусковой кнопки цикл прерывается. Тиристорный контактор имеет контроль температуры нагрева радиаторов тиристоров. Датчик контроля температуры имеет контакты в цепи пусковой кнопки машины. При допустимой температуре нагрева тиристоров контакт замкнут, что создает цепь запуска регулятора при нажатии пусковой кнопки. При перегреве тиристоров датчик контроля температуры разрывает контакт в цепи запуска регулятора, что исключает включение цикла сварки пусковой кнопкой.

Регулятор цикла сварки РВИ-703 осуществляет выполнение сварочного цикла.

При замыкании педали «Сварка» включается регулятор при условии замкнутого контакта датчика температуры тиристоров. Из регулятора первая команда поступает на пневмоэлектрический клапан, который подает воздух в верхнюю камеру пневмогидравлического устройства, производя сжатие электродов.

По истечении времени  $t_{сж}$  из регулятора поступают управляющие импульсы на тиристоры, включающие сварочный ток. Протекает процесс сварки в одноимпульсном или многоимпульсном режиме.

По истечении времени сварки прекращается подача управляющих импульсов на тиристоры и сварочный ток выключается. Сжатие электродов продолжается до истечения времени  $t_{ков}$ . По истечении  $t_{ков}$  регулятор выключает пневмоэлектрический клапан и происходит разжатие электродов.

По истечении времени паузы  $t_{\text{п}}$  цикл повторяется, если на регуляторе установлен автоматический режим и педаль «Сварка» замкнута.

## **2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

---

### **Оборудование и материалы**

Работа выполняется на подвесной точечной машине МТП-1409. Дополнительно к методическому указанию можно использовать паспорт и описание машины.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Изучить конструкцию и работу основных узлов и систем машины.
2. Изучить настройку регулятора цикла сварки РВИ-703.
3. Включить машину (воду, воздух, сеть) и испытать ее без сварочного тока (на холостом ходу) и под током.

### **Содержание отчета**

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующие основные сведения и результаты.

1. Название и цель работы.
2. Марку машины и ее расшифровку.
3. Схему привода сжатия и системы охлаждения.
4. Схему связи регулятора цикла сварки РВИ-703 с органами машины.
5. Способы регулирования сварочного тока.
6. Одноимпульсную и многоимпульсную циклограмму работы машины.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Каковы назначение, устройство и работа системы охлаждения?
2. Каково назначение, устройство и работа пневмоэлектрического привода сжатия электродов?

3. Перечислите достоинства и недостатки пневмогидравлического привода сжатия.
4. Как производится установка требуемого усилия сжатия электродов на контактной машине?
5. Каково назначение, конструкция и работа тиристорного контактора?
6. Каковы способы регулирования сварочного тока на контактной машине?
7. Как производится установка временных фаз цикла на регуляторе цикла сварки РВИ-703?
8. Опишите процесс регулирования сварочного тока с помощью регулятора цикла сварки РВИ-703.
9. Как осуществляется установка многоимпульсного режима сварки на регуляторе цикла сварки РВИ-703?
10. Каков порядок прохождения команд из регулятора цикла сварки РВИ-703 при выполнении сварочного цикла?

# ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВТОРИЧНОГО КОНТУРА МАШИНЫ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Целью работы является овладение методикой измерения сопротивления вторичного контура и его отдельных участков постоянно-му току, изучение влияния изменения с опротивления вторичного контура на электрические параметры машины для к онтактной точечной сварки.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Понятие об активном сопротивлении вторичного контура

Вторичный контур (рис. 8.1) состоит из элементов (электродов 7, 8, электрододержателей 6, 9, консолей 5, 10, шин 2, 3, 11 и т. д.) и контактов между ними. Вторичный контур обеспечивает подвод тока от источника машины к месту сварки на изделии.

Элементы (участки) контура и контакты между ними имеют электрическое сопротивление. Различают сопротивление проводника постоянному и переменному току. Сопротивление проводника постоянному току зависит от его материала, размера, температуры и определяется выражением

$$R_{2ni} = (l/S_n)\rho_T, \quad (8.1)$$

где  $l$  — длина проводника;  $S_n$  — площадь поперечного сечения проводника;  $\rho_T$  — удельное сопротивление материала проводника при данной температуре.

При протекании переменного тока сопротивление проводника возрастает из-за поверхностного эффекта:



$$R_{2i} = K_{\Pi} R_{2\Pi i} \quad (8.2)$$

где  $K_{\Pi}$  — коэффициент поверхностного эффекта;  $R_{2\Pi i}$  — сопротивление проводника постоянному току.

Поверхностный эффект выражается в том, что переменный ток протекает в большей степени по наружным слоям проводника, а во внутренних слоях плотность тока падает, что равносильно уменьшению поперечного сечения проводника и возрастанию его сопротивления (8.1).

Коэффициент поверхностного эффекта зависит от материала проводника и пропорционален площади и частоте переменного тока. При равной площади поперечного сечения коэффициент поверхностного эффекта больше для круглых проводников, чем для прямоугольных.

Сопротивление контакта в основном зависит от материала элементов, состояния контактирующих поверхностей и усилия их прижима:

$$R_{kj} = C/P^m, \quad (8.3)$$

где  $C$  — контактное сопротивление при усилии затяжки 1 даН, зависящее от материала и состояния поверхности;  $P$  — усилие затяжки контакта, даН;  $m$  — показатель, зависящий от материала и состояния поверхности.

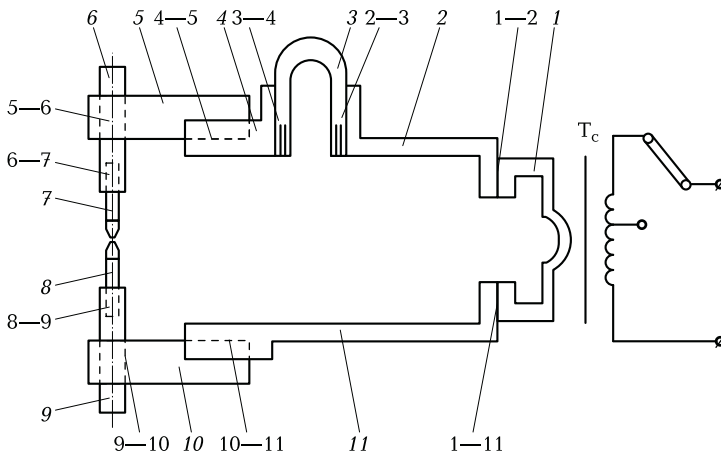


Рис. 8.1. Схема вторичного контура машины для контактной точечной сварки:

1—11 — элементы контура; 1—2, 2—3, ..., 1—11 — электрические контакты;  $T_c$  — сварочный трансформатор

С ростом усилия затяжки контактное сопротивление падает по гиперболической зависимости, приближаясь к минимальному пределу.

Контакты подразделяют на неподвижные и подвижные (скльзящие).

Подвижные контакты имеются в машинах для контактной шовной сварки.

Нормы сопротивлений неподвижных контактов  $(1 \dots 5) \cdot 10^{-6}$  Ом, или  $1 \dots 5$  мкОм, подвижных —  $(10 \dots 15) \cdot 10^{-6}$  Ом, или  $10 \dots 15$  мкОм.

При протекании через элементы и контакты вторичного контура постоянного или переменного тока на них происходит выделение теплоты, т. е. необратимое преобразование электрической энергии в тепловую. Сопротивление, на котором происходит необратимое преобразование электрической энергии в другие виды (тепловую, световую и т. д.), называется *активным*. Элементы и контакты вторичного контура обладают активным сопротивлением. При постоянном токе активное сопротивление вторичного контура

$$R_{2п} = \sum_i R_{2пi} + \sum_j R_{кj}; \quad (8.4)$$

при переменном токе

$$R_2 = \sum_i R_{2i} + \sum_j R_{кj}. \quad (8.5)$$

## Методы снижения активного сопротивления вторичного контура

Повышенное активное сопротивление вторичного контура вызывает повышенное выделение теплоты и непроизводительные потери энергии. Кроме того, возможен перегрев и износ отдельных элементов и особенно контактов.

Сопротивление вторичного контура можно снизить минимизацией размеров контура, выбором электропроводящих материалов, применением постоянного или низкочастотного тока, обеспечением минимальных контактных сопротивлений.

Снижение и поддержание минимальных контактных сопротивлений обеспечивается проверкой усилия затяжки контактов, очисткой их от оксидов и загрязнений, охлаждением, серебрением поверхности и смазкой скользящих контактов.

## Влияние активного сопротивления вторичного контура на электрические параметры машины для контактной сварки

Для машин переменного тока а, которые применяются наиболее широко, полное сопротивление вторичного контура можно наглядно представить треугольником сопротивлений (рис. 8.2).

Из рис. 8.2 видно, что изменение активного сопротивления контура  $R_2$  вызывает изменение полного сопротивления  $Z_2$  и силы сварочного тока, что может снизить качество сварного соединения.

Величина активного сопротивления вторичного контура  $R_2$  влияет на  $\cos \varphi$  машины, который показывает, какую долю от полной мощности  $M$  составляет активная мощность  $N$ , т. е.

$$\cos \varphi = N/M = (R_{\text{А-А}} + R_{\text{Т}} + R_2)/Z_2, \quad (8.6)$$

где  $R_{\text{А-А}}$ ,  $R_{\text{Т}}$  — активные сопротивления свариваемых деталей и сварочного трансформатора.

Увеличение  $R_2$  вызывает уменьшение  $\varphi$  и повышение  $\cos \varphi$ , т. е. улучшает работу машины с питающей сетью.

От активного сопротивления контура  $R_2$  зависит КПД  $\eta$  машины, выражаемый отношением

$$\eta = N_{3-3}/N = R_{\text{А-А}}/(R_{\text{А-А}} + R_{\text{Т}} + R_2), \quad (8.7)$$

где  $N_{3-3}$  — полезная мощность.

Чем больше  $R_2$ , тем меньше КПД контактной машины.

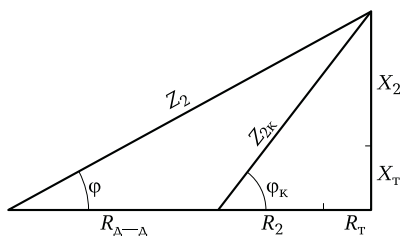


Рис. 8.2. Треугольник сопротивления вторичного контура:

$R_2$ ,  $R_{\text{Т}}$ ,  $R_{\text{д-д}}$  — активные сопротивления вторичного контура, сварочного трансформатора и свариваемых деталей;  $X_2$ ,  $X_{\text{Т}}$  — индуктивные сопротивления вторичного контура и сварочного трансформатора;  $Z_{2к}$ ,  $Z_2$  — полные сопротивления вторичного контура при коротком замыкании и сварке;  $\varphi$ ,  $\varphi_k$  — углы между активным и индуктивным сопротивлением в рабочем режиме и режиме короткого замыкания

Коэффициент полезного использования полной мощности машины определяется выражением

$$\eta_{\text{п}} = N_{\text{э-э}}/M = \eta \cos \varphi. \quad (8.8)$$

### Способы измерения сопротивления вторичного контура машины для контактной сварки постоянному току

Сопротивление вторичного контура постоянному току заносится в паспорт машины. При эксплуатации машины оно должно поддерживаться по указанным ранее причинам постоянным и по этому периодически проверяться. Сопротивление вторичного контура можно измерить микроомметром (например, М264) или методом амперметра—вольтметра (рис. 8.3).

Рассмотрим метод амперметра—вольтметра. Для измерения необходим источник постоянного тока  $I$ , который подключают к электродам машины с использованием изоляционной прокладки. Ток от источника протекает по всем элементам контура. Измеряя

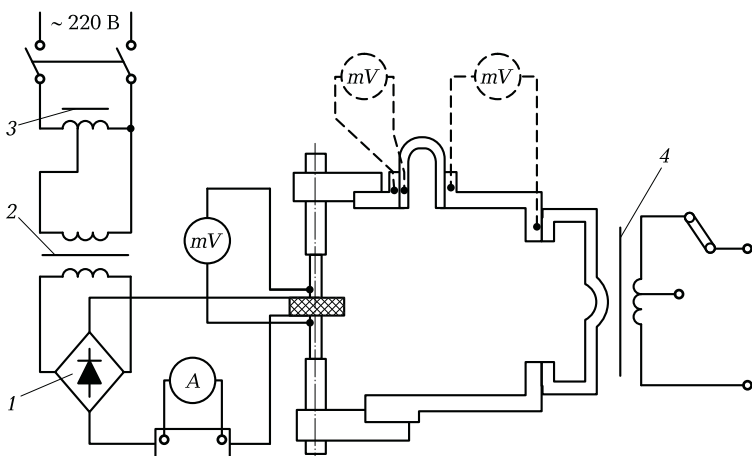


Рис. 8.3. Схема измерения сопротивления вторичного контура методом амперметра—вольтметра:

1 — выпрямитель; 2 — понижающий трансформатор; 3 — лабораторный автотрансформатор; 4 — сварочный трансформатор;  $mV$  и  $A$  — милливольтметр и амперметр

амперметром ток и милливольтметром падение напряжения на элементе, можно определить сопротивление  $i$ -го элемента:

$$R_{2\text{ии}} = U_i / I_i. \quad (8.9)$$

Название метода обусловлено применением приборов амперметра и вольтметра. Для эксперимента необходимо правильно выбрать приборы и источник питания, исходить необходимо из паспортной величины сопротивления контура, которая может составлять 30... 400 мкОм. Источником питания может быть сварочный выпрямитель или генератор, рассчитанные на силу тока 200... 500 А. По сопротивлению контура и величине тока источника выбирают милливольтметр. Следует брать повышенные значения силы измерительного тока, чтобы получить большее падение напряжения на элементе контура, для измерения которого можно использовать менее чувствительный милливольтметр.

Пример:  $R_{2\text{п}} = 50 \text{ мкОм} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ ;  $I = 200 \text{ А}$ . Падение напряжения на контуре  $U = IR_{2\text{п}} = 200 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 10 \text{ мВ}$ . Необходимо взять милливольтметр с пределом измерения несколько более 10 мВ — 15... 20 мВ. При менее чувствительном милливольтметре нужен источник питания с большей силой тока.

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Оборудование и приборы

Для выполнения работы используются следующие приборы, материалы и инструменты:

- машина для контактной сварки (по выбору преподавателя);
- выпрямитель на 200 А;
- амперметр и милливольтметр постоянного тока, провода, инструмент.

### Последовательность выполнения работы

1. Для заданной машины начертить измерительную схему с нумерацией элементов и контактов контура.
2. Собрать измерительную схему. Выбрать предел измерения милливольтметра.

Таблица 8.1. Результаты измерений

Номер контакта или элемента	Величина тока, А	Предел измерения милливольтметра, мВ	Показания милливольтметра (число делений)	Напряжение на элементе, В	Сопротивление элемента, мОм

3. По концам элементов контура наметить измерительные точки для подключения к ним милливольтметра.

4. Измерить падение напряжения в целом на вторичном контуре и на его частях и контактах при двух значениях силы тока. Результаты измерения занести в табл. 8.1.

5. Вычислить сопротивления элементов и контактов. Для каждого значения силы тока определить полное сопротивление суммированием элементов и из дв ух сумм определить среднее значение. Определить среднее измеренное полное с опротивление контура и сопоставить его со средним суммированным сопротивлением контура. Среднее измеренное полное с опротивление сопоставить с паспортным значением.

6. Определить контакты, сопротивление которых превышает нормы.

## Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие основные сведения и результаты.

1. Название и цель работы.
2. Измерительную схему.
3. Описание метода измерения.
4. Характеристики приборов (систему, тип, класс точности, предел измерения).
5. Таблицу с результатами измерения и расчета.
6. Выводы по ре зультатам измерения и с опоставления их с паспортными данными.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Каково назначение вторичного контура машины для контактной сварки?
2. Какие способы применяются для измерения сопротивления вторичного контура?
3. Какое оборудование и приборы применяются для измерения сопротивления вторичного контура?
4. Как выбрать источник питания и приборы для проведения работы?
5. Как собирается измерительная схема?
6. Как перевести показания прибора (число делений шкалы) в действительное значение измеряемой величины?
7. Как найти по результатам измерения усредненные значения сопротивления вторичного контура?
8. Показать по результатам измерения, какие места вторичного контура имеют повышенное сопротивление. Почему?
9. Какие места вторичного контура склонны к повышенному износу и как данный износ можно уменьшить?
10. Как изменяется сопротивление неподвижного контакта от усилия его затяжки?
11. Каковы нормы на сопротивление неподвижных и подвижных контактов?
12. Как и почему род тока влияет на активное сопротивление вторичного контура?
13. Какие факторы влияют на величину коэффициента поверхностного эффекта?
14. Как форма поперечного сечения проводника влияет на коэффициент поверхностного эффекта?
15. На какие характеристики вторичного контура влияет сопротивление вторичного контура?
16. Как определяется КПД машины и от чего он зависит?
17. Как определяется  $\cos \varphi$  машины и от чего он зависит?
18. Как определяется коэффициент полезного использования полной мощности машины?

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Целью работы является овладение методикой измерения основных электрических параметров машины для контактной сварки и изучение характера их изменения в зависимости от сопротивления между электродами машины.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### **Основные электрические параметры машины для контактной сварки. Сопротивление сварочной цепи (вторичного контура) машины для контактной сварки переменного тока и его влияние на электрические параметры машины**

При работе машины для контактной сварки важное значение имеют электрические параметры: сила тока во вторичном и первичном контуре (первичного и вторичного тока)  $I_1$ ,  $I_2$ ; напряжение в первичном и вторичном контуре (первичное и вторичное напряжение)  $U_1$ ,  $U_2$ ; напряжение во вторичном контуре при разомкнутых электродах  $U_{2-0}$ ; полная потребляемая мощность  $M$ ; активная мощность  $N$ ; коэффициент мощности  $\cos \varphi$ ; коэффициент полезного действия  $\eta$ .

Кроме  $U_1 = U_c$  и  $U_{2-0}$ , определяемых степенью сварочного трансформатора, все остальные параметры в различных режимах работы наглядно изображаются треугольником сопротивлений (рис. 9.1).

В режимах короткого замыкания и сварки полные сопротивления вторичного контура  $Z_{2к}$  и  $Z_2$  определяются соотношениями



$$Z_{2к} = [(R_2 + R_T)^2 + (X_2 + X_T)^2]^{1/2}; \quad (9.1)$$

$$Z_2 = [(R_2 + R_{A-A} + R_T)^2 + (X_2 + X_T)^2]^{1/2}, \quad (9.2)$$

где  $R_2, R_T, R_{A-A}$  — активные сопротивления вторичного контура, сварочного трансформатора и свариваемых деталей;  $X_2, X_T$  — индуктивные сопротивления вторичного контура и сварочного трансформатора.

Полные сопротивления  $Z_{2к}$  и  $Z_2$  определяют силу вторичного тока в режиме короткого замыкания и сварки:

$$I_{2к} = U_{2-0}/Z_{2к}, \quad (9.3)$$

$$I_2 = U_{2-0}/Z_2. \quad (9.4)$$

При постоянстве размеров вторичного контура величина  $Z_{2к}$  также остается постоянной, поэтому при эксплуатации машины и сила токов короткого замыкания по ступеням должна оставаться постоянной, что проверяется при аттестации машины. Умножив длину сторон треугольника сопротивлений на  $I_2^2$ , получим треугольник мощностей (рис. 9.2). Активная мощность  $N$  тратится на нагрев обмоток и сердечника сварочного трансформатора, свариваемых деталей и эле-

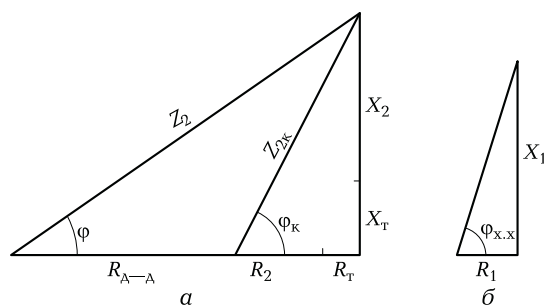


Рис. 9.1. Треугольники сопротивлений вторичного контура (а) и первичной цепи сварочного трансформатора (б) на холостом ходу машины:

$R_2$  и  $X_2$  — активное и индуктивное сопротивления вторичного контура;  $R_T$  и  $X_T$  — активное и индуктивное сопротивления сварочного трансформатора, приведенные ко вторичной цепи;  $R_{д-д}$  — сопротивление свариваемых деталей;  $R_1$  и  $X_1$  — активное и индуктивное сопротивления первичной цепи сварочного трансформатора на холостом ходу машины;  $\varphi, \varphi_k, \varphi_{x,x}$  — углы между активным и полным сопротивлением вторичного контура в рабочем режиме, режимах короткого замыкания и холостого хода

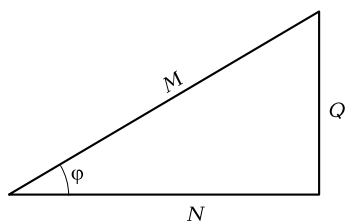


Рис. 9.2. Треугольник мощностей машины переменного тока:  $N, Q, M$  — активная, реактивная и полная мощность соответственно;  $\varphi$  — угол между активной и полной мощностью в рабочем режиме

ментов вторичного контура. Реактивная мощность  $Q$  в течение каждого полупериода сварочного тока при его нарастании тратится на создание магнитного поля вокруг вторичного контура, а при спаде тока — освобождается и отдается обратно в питающую сеть.

Важным параметром машины является  $\cos \varphi$ , который для режимов короткого замыкания и сварки определяется выражениями

$$\cos \varphi_{\kappa} = (R_2 + R_T) / Z_{2\kappa}; \quad (9.5)$$

$$\cos \varphi = (R_2 + R_T + R_{3-3}) / Z_2. \quad (9.6)$$

Значение  $\cos \varphi$  можно определить из треугольника мощностей:

$$\cos \varphi = N / M. \quad (9.7)$$

Чем больше активное сопротивление и меньше индуктивное, тем больше значение  $\cos \varphi_{\kappa}$ . В режиме короткого замыкания  $\cos \varphi_{\kappa}$  имеет малое значение; оно возрастает в режиме сварки, тем больше, чем больше активное сопротивление деталей (рис. 9.1, а). В режиме холостого хода (рис. 9.1, б) значение  $\cos \varphi$  резко уменьшается из-за высокого индуктивного сопротивления первичной обмотки.

Большое значение  $\cos \varphi$  соответствует более благоприятному режиму работы машины с питающей подстанцией, когда реактивная мощность  $Q$ , которая без участия в работе просто перемещается по линии в машину и из машины обратно в подстанцию, невелика и нагружает подстанцию незначительно.

Машины для контактной сварки переменного тока имеют небольшое значение  $\cos \varphi = 0,3 \dots 0,5$ . С уменьшением частоты сварочного тока  $\cos \varphi$  увеличивается, приближаясь к единице в машинах постоянного тока.

## Внешние и нагрузочные характеристики контактной машины

Внешней характеристикой машины для контактной сварки называется зависимость напряжения на электродах  $U_{23-3}$  от силы тока во вторичном контуре  $I_2$ , т. е. функция  $U_{23-3} = f(I_2)$  (рис. 9.3).

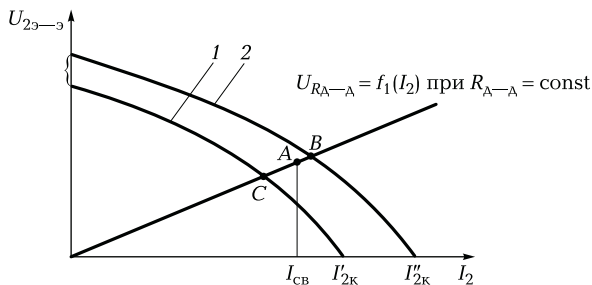


Рис. 9.3. Внешние характеристики (1 и 2) машины для контактной сварки при разных ступенях трансформатора:

$U_{2э-э}$  — напряжение во вторичном контуре между электродами;  
 $I_{св}, I_2$  — сила сварочного тока и сила тока во вторичном контуре;  
 $I'_{2к}, I''_{2к}$  — сила тока короткого замыкания во вторичном контуре на первой и второй ступенях

Каждая ступень машины имеет свою внешнюю характеристику. Внешние характеристики имеют падающую форму, так как кроме межэлектродного промежутка ( $R_{\Lambda-\Lambda}$ ), напряжение  $U_{2-0}$ , наводимое во вторичной обмотке, падает на сопротивлении самого вторичного контура  $Z_{2к}$ . С ростом сопротивления вторичного контура  $Z_{2к}$  и при неизменных значениях вторичных напряжений по ступеням сила токов короткого замыкания по закону Ома уменьшается, а характеристики становятся более крутыми.

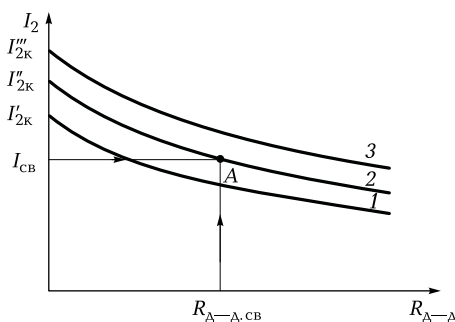


Рис. 9.4. Нагрузочные характеристики:

1–3 — номера ступеней;  $I_{св}, I_2$  — сила сварочного тока и тока во вторичном контуре;  $I'_{2к}, I''_{2к}, I'''_{2к}$  — сила тока короткого замыкания во вторичном контуре на первой, второй и третьей ступенях;  $R_{д-д,св}$  — сопротивление между деталями во время сварки

По внешним характеристикам можно определить ступень машины, необходимую для сварки деталей. Вначале по виду материала и его толщине определяют силу сварочного тока. Затем находят сопротивление свариваемых деталей  $R_{A-A}$  и строят зависимость падения напряжения на них от силы тока  $I_2$ , т. е. зависимость  $U_{R_{A-A}} = f_1(I_2)$  при  $R_{A-A} = \text{const}$  (прямую линию). На линии  $U_{R_{A-A}}$  находят точку  $A$  и выбирают ближайшую ступень.

Нагрузочной характеристикой машины называется зависимость силы тока во вторичном контуре  $I_2$  от величины сопротивления деталей, т. е. зависимость  $I_2 = f_2(R_{A-A})$  (рис. 9.4).

С ростом сопротивления вторичного контура  $Z_{2к}$  сопротивления деталей  $R_{A-A}$  менее влияют на полное сопротивление сварочной цепи  $Z_2$  и, следовательно, на силу тока в пределах ступени, поэтому нагрузочные характеристики становятся более пологими. Число нагрузочных характеристик равно количеству ступеней машины. Нагрузочные характеристики также применяются при выборе нужной ступени для сварки. Как и ранее, предварительно находят  $I_{св}$  и  $R_{A-A}$ , которые определяют в точке  $A$ .

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Изучение принципиальной схемы измерения

Рассмотрим назначение и правило выбора приборов для проведения эксперимента (рис. 9.5). Электрические параметры машины для контактной сварки частично измеряются приборами, а частично рассчитываются на основании проведенных измерений по известным зависимостям.

В предложенной схеме прямым измерением определяют силу тока  $I_1$  и напряжение  $U_1 = U_{\text{сети}}$  в первичном контуре трансформатора активную мощность  $P$ , напряжение на электродах  $U_{2э-э}$ . На основании измеренных величин расчетным (косвенным) методом определяют силу вторичного тока  $I_2$ , полную мощность  $M$ ,  $\cos \varphi$ .

Первичный ток измеряется амперметром  $A$ . Но так как сила первичного тока машин для контактной сварки составляет сотни ампер, а амперметры рассчитаны на силу тока до  $10 \dots 20$  А, для измерения применяется трансформатор тока  $T_r$ , который снижает силу тока, подаваемого на амперметр, до 5 А. Трансформатор тока  $T_r$  выбирают так, чтобы сила первичного тока машины для контактной сварки соответствовала силе номинального первичного тока  $T_r$ .

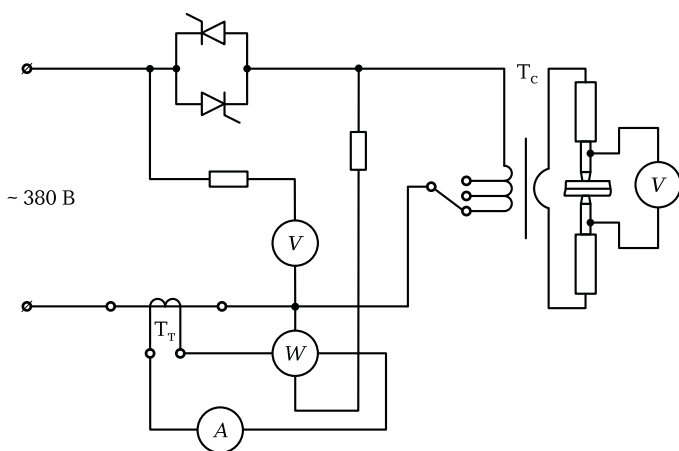


Рис. 9.5. Схема включения измерительных приборов:  
 $T_c$  и  $T_t$  — сварочный трансформатор и трансформатор тока;  
 $V$  — вольтметр;  $A$  — амперметр;  $W$  — ваттметр

Первичная обмотка  $T_t$  включается в разрыв кабеля, подводящего напряжение сети к первичной обмотке сварочного трансформатора  $T_c$ . Во вторичную обмотку  $T_t$  включается амперметр с пределом измерения 5 А. Менее точный амперметр (на 10 А) будет давать большую погрешность.

Вольтметр для измерения первичного напряжения сварочного трансформатора выбирается с пределом измерения не менее напряжения сети. Если измеряемое напряжение больше предела измерений прибора, то для защиты вольтметра от перегрузки последовательно с ним включается дополнительное сопротивление  $R_{\Delta 2}$ . Активная мощность измеряется ваттметром  $W$ . Точковый вход ваттметра с пределом по силе тока 5 А подключается к  $T_t$  последовательно с амперметром. Вход напряжения ваттметра подключается к напряжению первичной обмотки сварочного трансформатора через дополнительное сопротивление  $R_{\Delta 1}$  или без него, как в случае с вольтметром.

Напряжение на электродах  $U_{23...3}$  составляет величину от нескольких вольт до нескольких десятков вольт, что учитывается при выборе вольтметра.

## Оборудование и приборы

Для выполнения работы используются следующие приборы и инструменты:

- машина для контактной сварки по выбору преподавателя;
- измерительные приборы в соответствии с измерительной схемой, соединительные провода и инструмент.

## Последовательность выполнения работы

1. Собрать измерительную схему в соответствии с рис. 9.5, обобрав правильный выбор пределов измерения приборов.
2. Подготовить машину к включению для проведения эксперимента.
3. На первой и второй ступенях машины провести измерение электрических параметров: на холостом ходу (ХХ); при трех значениях нагрузочного сопротивления  $R_{A1} > R_{A2} > R_{A3}$ , в качестве которого используется водоохлаждаемая стальная трубка, помещаемая между электродами машины и имитирующая сопротивление деталей  $R_{A-A}$ ; при коротком замыкании (КЗ).
4. Обработать полученные данные и построить внешние характеристики машины.

## Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие сведения и результаты.

1. Название и цель работы.
2. Схему измерения.
3. Перечень приборов с указанием системы, типа, класса точности пределов измерения.

Таблица 9.1. Результаты измерений и расчетов

Параметр	Режимы работы (ступени машины)					
	Первая ступень (холостой ход)			Вторая ступень (короткое замыкание)		
	$R_{A1}$	$R_{A2}$	$R_{A3}$	$R_{A1}$	$R_{A2}$	$R_{A3}$
Сила тока $I_{изм}$ : показания амперметра (число делений) погрешности измерения $\Delta I$ истинное значение, А						

Параметр	Режимы работы (ступени машины)					
	Первая ступень (холостой ход)			Вторая ступень (короткое замыкание)		
	$R_{A1}$	$R_{A2}$	$R_{A3}$	$R_{A1}$	$R_{A2}$	$R_{A3}$
Напряжение $U_{изм}$ : показания вольтметра (число делений) погрешности измерения $\Delta U$ истинное значение, В						
Активная мощность $N$ : показания ваттметра (число делений) погрешности измерения $\Delta U$ истинное значение, Вт						
Коэффициент мощности $\cos \varphi$						
Сила тока в первичном контуре $I_1$ , А						
Сила тока во вторичном контуре $I_2$ , А						
Напряжение во вторичном контуре $U_2$ , В						
Полная мощность $M$ , Вт						
Коэффициент трансформации сварочного трансформатора $K_{Тс}$						
Коэффициент трансформации трансформатора тока $K_{Тт}$						

Пр и м е ч а н и е. Напряжение в первичном контуре  $U_1 = 380$  В;  $R_1, R_2, R_3$  – нагрузочные сопротивления вторичного контура.

4. Результаты измерения и расчетов в виде табл. 9.1.
5. Внешние характеристики машины.
6. Анализ влияния изменения  $R_{\Delta-\Delta}$  (сопротивления трубки) на  $\cos \varphi$  исходя из теоретических представлений и экспериментальных данных.

## Пояснения к выполнению работы

1. Дополнительное сопротивление  $R_A$ , присоединяемое к вольтметру, в общем случае определяется выражением

$$R_A = (U_{\text{изм}} - \Delta U) / I_{\text{изм}}, \quad (9.8)$$

где  $U_{\text{изм}}$  — значение измеряемого напряжения;  $\Delta U$  — погрешность измерения прибора;  $I_{\text{изм}}$  — значение измеряемой силы тока.

Для точного определения дополнительного сопротивления  $R_A$  требуется введение поправочного коэффициента

$$K_{R_A} = (R_{\text{приб}} + R_A) / R_{\text{приб}}; \quad (9.9)$$

$$U_{\text{изм}} = U_{\text{приб}} K_{R_A}, \quad (9.10)$$

где  $R_{\text{приб}}$  — сопротивление прибора (вольтметра);  $U_{\text{приб}}$  — показания прибора.

2. Сила первичного тока определяется с учетом коэффициента трансформации трансформатора тока  $K_{T_T}$ :

$$I_1 = I_{\text{изм}} K_{T_T}. \quad (9.11)$$

Результаты измерений и расчетов заносятся в таблицу.

3. Коэффициент трансформации сварочного трансформатора  $K_{T_C}$  на каждой ступени определяется из паспорта машины или ориентировочно по формуле

$$K_{T_C} = U_1 / U_{2-0}, \quad (9.12)$$

где  $U_1$  — напряжение в первичном контуре;  $U_{2-0}$  — вторичное напряжение при разомкнутых электродах.

4. Сила вторичного тока определяется выражением

$$I_2 = I_1 K_{T_C}. \quad (9.13)$$

Активная мощность  $N$  по показанию прибора определяется по формуле

$$N = an K_{T_T} K_{R_A}, \quad (9.14)$$

где  $a$  — цена деления ваттметра;  $n$  — показания (число делений) ваттметра;  $K_{R_A}$  — поправочный коэффициент напряжения, подаваемого на ваттметр через дополнительное сопротивление, если оно имеется.

6. Величина полной мощности определяется выражением

$$M = I_1 U_1. \quad (9.15)$$



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Какие электрические параметры машины для контактной сварки измеряются приборами?
2. Какие электрические параметры машины для контактной сварки рассчитываются по результатам измерения?
3. Перечислите измерительные приборы и укажите, какую величину измеряет каждый из них и как каждый прибор включается в схему.
4. Зачем в измерительную схему включен трансформатор тока?
5. В совокупности с каким прибором (приборами) работает трансформатор тока?
6. Как следует выбирать трансформатор тока для измерительной схемы?
7. Как следует выбирать к трансформатору тока работающий с ним в паре прибор?
8. Зачем в измерительную схему включены дополнительные сопротивления  $R_{д1}$  и  $R_{д2}$ ? Всегда ли они необходимы?
9. Как определяется цена деления прибора (амперметра, ваттметра, вольтметра)?
10. Как по показаниям (числу делений) прибора определить действительное значение измеряемой величины ( $N$ ,  $I_T$ ,  $I_1$ ,  $U_{2э-э}$ ) с учетом конкретной измерительной схемы?
11. Как рассчитать величины  $I_2$ ,  $M$ ,  $\cos\varphi$ ?
12. Что называется коэффициентом трансформации ступени сварочного трансформатора? Как он находится?
13. Что называется  $\cos\varphi$  машины?
14. От каких факторов зависит  $\cos\varphi$  машины?
15. Обосновать, как должен изменяться  $\cos\varphi$  машины при изменении сопротивления  $R$ , вводимого во вторичный контур машины, от  $R_{д1}$  до  $R_{д3}$ ?
16. Сопоставить теоретическую зависимость  $\cos\varphi$  от  $R_d$  с экспериментальным.
17. Каково влияние индуктивного сопротивления на  $\cos\varphi$  машины?
18. Напишите выражения для определения полного сопротивления вторичного контура машины для контактной сварки.
19. Постройте графическое изображение треугольника сопротивлений машины для контактной сварки.
20. Что называется внешней характеристикой машины для контактной сварки?
21. Постройте графическое изображение внешней характеристики машины для контактной сварки.

22. От чего зависит крутизна внешней характеристики машины для контактной сварки?
23. Как для материала заданной толщины подобрать нужную ступень для сварки, используя внешние характеристики машины для контактной сварки?
24. Как изменятся показания вольтметра, если его подключение сместить с электродов ближе ко вторичной обмотке сварочного трансформатора?
25. Что называется активной и реактивной мощностью машины для контактной сварки?
26. Изобразите графически треугольник мощностей машины для контактной сварки.
27. Что называется нагрузочной характеристикой машины для контактной сварки?

# ВЫЯВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАСС НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МАШИН ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ И КАЧЕСТВО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Целью работы является изучение влияния ферромагнитных масс, вводимых во вторичный контур контактных машин на качество сварных соединений и параметры режима сварки.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Основные понятия об индуктивном сопротивлении вторичного контура машин для контактной сварки

Во вторичном контуре машины для контактной сварки, помимо активного сопротивления, при протекании переменного тока появляется индуктивное сопротивление.

Появление индуктивного сопротивления в цепях переменного тока связано с возникновением вокруг проводников переменного магнитного поля. Вторичный контур машины для контактной сварки можно рассматривать как одновитковый соленоид, по которому протекает ток (рис. 10.1). При протекании тока вокруг проводника образуется магнитное поле, силовые линии которого представляют собой концентрические окружности, если проводник имеет круглую форму.

Совокупность магнитных силовых линий образует внутри вторичного контура магнитный поток определенной направленности. Величина магнитного потока, заключенного внутри вторичного контура, определяется индукцией магнитного поля и площадью вторичного контура, вычисленной по средней линии.

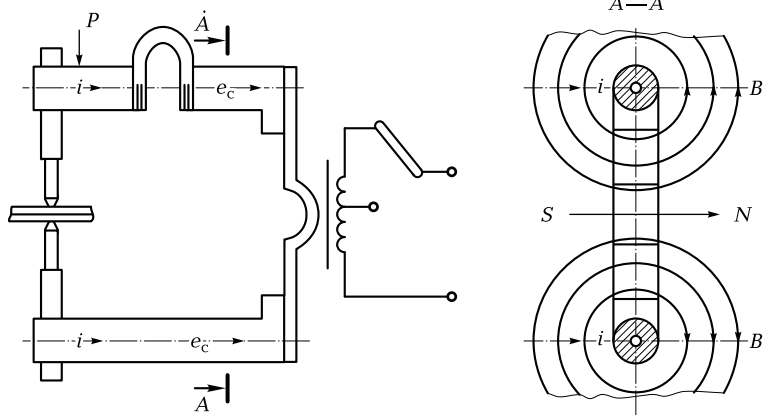


Рис. 10.1. Схема магнитного поля вторичного контура:

$i$  — мгновенное направление переменного тока;  $e_c$  — мгновенное направление ЭДС самоиндукции;  $B$  — индукция магнитного поля;  $P$  — усилие сжатия электродов

Переменный магнитный поток, заключенный внутри контура, наводит в нем ЭДС самоиндукции, направленную противоположно протекающему току и, следовательно, выступающую в роли дополнительного сопротивления (рис. 10.1). Наведенная во вторичном контуре ЭДС самоиндукции возрастает с увеличением индукции магнитного поля  $B$ , площади вторичного контура  $S_k$  и частоты переменного тока  $f$ . Количественно величина индуктивного сопротивления всей электрической цепи или отдельного ее элемента определяется выражением

$$X = 2\pi fL, \quad (10.1)$$

где  $f$  — частота переменного тока, Гц;  $L$  — индуктивность всей электрической цепи или ее элемента.

Индуктивность вторичного контура зависит от формы, размеров, материала его элементов и их совместного расположения.

Индуктивное сопротивление вторичного контура контактной машины  $X_2$ , выраженное в омах, при частоте переменного тока 50 Гц можно определить по формуле

$$X_2 = S_k^{0,73} \cdot 10^{-6}, \quad (10.2)$$

где  $S_k$  — площадь, охватываемая вторичным контуром, взятая по осям сечения сторон, см<sup>2</sup>.

В совокупности с активным индуктивное сопротивление образует полное сопротивление вторичного контура (сплошные линии на рис. 10.2). При введении ферромагнитных масс (деталей больших размеров) во вторичный контур увеличивается индуктивное сопротивление вторичного контура и соответствующее его полное сопротивление  $Z'_1$  (пунктирные линии на рис. 10.2).

В режимах короткого замыкания и сварки полные сопротивления вторичного контура определяются соотношениями

$$Z_{2к} = [(R_2 + R_T)^2 + (X_2 + X_T)^2]^{1/2}; \quad (10.3)$$

$$Z_2 = [(R_2 + R_{A-A} + R_T)^2 + (X_2 + X_T)^2]^{1/2}, \quad (10.4)$$

где  $Z_{2к}$  и  $Z_2$  — полные сопротивления вторичного контура при коротком замыкании и сварке;  $R_2$ ,  $X_2$  и  $R_{A-A}$  — активное и индуктивное сопротивление вторичного контура и сопротивление свариваемых деталей;  $R_T$ ,  $X_T$  — активное и индуктивное сопротивление сварочного трансформатора.

Полное сопротивление  $Z_2$  определяет силу сварочного тока во вторичном контуре:

$$I_2 = U_{2-0} / Z_2, \quad (10.5)$$

где  $U_{2-0}$  — ЭДС вторичной обмотки сварочного трансформатора.

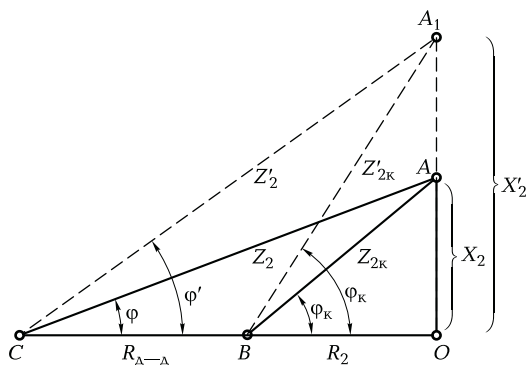


Рис. 10.2. Треугольник сопротивлений вторичного контура:

$Z_{2к}$ ,  $Z_2$  — полные сопротивления вторичного контура при коротком замыкании и сварке;  $R_2$  и  $X_2$  — активное и индуктивное сопротивления вторичного контура;  $R_{д-д}$  — сопротивление свариваемых деталей;  $Z'_{2к}$ ,  $Z'_2$  — полные сопротивления вторичного контура при коротком замыкании и сварке после введения ферромагнитных масс;  $X'_2$  — индуктивное сопротивление вторичного контура после введения ферромагнитных масс;  $\varphi$ ,  $\varphi_k$ ,  $\varphi'$  — углы между активным и индуктивным сопротивлениями в рабочем режиме короткого замыкания и после введения ферромагнитных масс

Рассмотрим влияние индуктивного сопротивления вторичного контура на электрические параметры.

При прочих равных условиях увеличение индуктивного сопротивления  $X_2$  (перемещение точки  $A$  в положение точки  $A_1$  на рис. 10.2) вызывает увеличение полного сопротивления ( $Z'_2 > Z_2$ ) и уменьшение силы сварочного тока на данной ступени сварочного трансформатора.

Увеличение индуктивного сопротивления  $X_2$  вызывает уменьшение коэффициента мощности машины, определяемого выражением

$$\cos \varphi = N/M = (R_{A-A} + R_2)[(R_{A-A} + R_2)^2 + X_2^2]^{-1/2}, \quad (10.6)$$

где  $N$  и  $M$  — активная и полная мощность машины;  $R_{A-A}$ ,  $R_2$  — активные сопротивления свариваемых деталей и вторичного контура;  $X_2$  — индуктивное сопротивление вторичного контура.

Уменьшение  $\cos \varphi$  характеризует снижение доли полной мощности, преобразующейся в работу. При этом возрастает доля полной мощности, которая за время одного периода переменного тока каждый раз запасается в магнитном поле вторичного контура и возвращается обратно в сеть, бесполезно нагружая источник питания (трансформатор подстанции) и линию электропередач.

Увеличение индуктивного сопротивления  $X_2$  снижает коэффициент полезного использования полной мощности машины, определяемый выражением

$$\lambda = N_{A-A}/M = \eta \cos \varphi, \quad (10.7)$$

где  $N_{A-A}$  — полезная мощность, затраченная на нагрев свариваемых деталей.

$$\eta = N_{A-A}/N = R_{A-A}/(R_{A-A} + R_2), \quad (10.8)$$

где  $\eta$  — КПД вторичного контура.

С ростом  $X_2$  уменьшается и коэффициент  $\lambda$  и  $R_2$  — активное сопротивление вторичного контура.

### **Причины изменения индуктивного сопротивления вторичного контура при сварке**

При контактной сварке определенные трудности вызывает не только наличие индуктивного сопротивления вторичного контура, но и его изменение в процес се сварки, что вызывает изменение

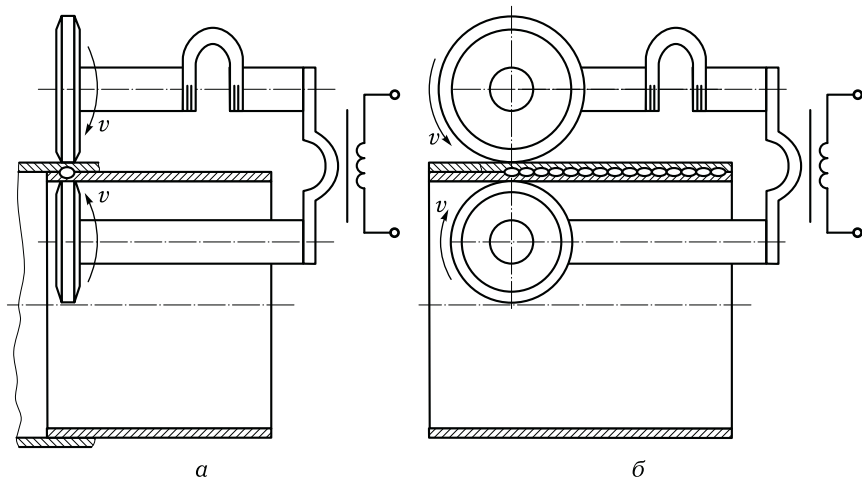


Рис. 10.3. Перемещения обечайки во вторичном контуре при сварке кольцевого (а) и продольного (б) швов:  
 $v$  — скорость вращения дисковых электродов

силы сварочного тока по длине шва и качества сварного соединения.

Рассмотрим основные причины изменения индуктивного сопротивления вторичного контура.

При сварке новых узлов приходится изменять размеры вторичного контура (вылет электродов и их раствор) в соответствии с размерами узла. Это вызывает изменение площади вторичного контура и его индуктивного сопротивления. Подобное изменение индуктивного сопротивления учитывается настройкой машины на новый режим сварки, обеспечивающий получение качественного сварного соединения, и не вызывает больших трудностей.

Изменение индуктивного сопротивления при контактной сварке вызывается введением во вторичный контур сварных узлов или сборочно-сварочных приспособлений из ферромагнитных материалов. Ферромагнитная масса, находящаяся во вторичном контуре, подобно ферромагнитному сердечнику соленоида, увеличивает индукцию магнитного поля, величину магнитного потока и ЭДС самоиндукции или, другими словами, индуктивность и индуктивное сопротивление.

Влияние ферромагнитной массы пропорционально ее размерам и зависит от ее расположения во вторичном контуре по отношению к токоведущим элементам.

Наибольшее влияние ферромагнитной массы на индуктивное сопротивление наблюдается в том случае, если она в виде кольца охватывает какой-либо токоведущий элемент вторичного контура (консоль, электрод, электрододержатель), как это имеет место при сварке обечайки на машине для шовной сварки (рис. 10.3).

При сварке кольцевого шва обечайки (рис. 10.3, а) ферромагнитная масса не меняется и качество сварки по всей длине шва поддерживается постоянным.

Наиболее неблагоприятным для процесса сварки является случай, когда одновременно с выполнением сварного шва происходит изменение ферромагнитной массы (рис. 10.3, б).

При сварке продольного шва (см. рис. 10.3, б) по мере перемещения ферромагнитной обечайки вовнутрь вторичного контура возрастает его индуктивное сопротивление и падает сила сварочного тока, что может вызвать непровар, если по ходу процесса не корректировать силу тока.

Для этого шов разбивают на участки и в конце каждого участка изменяют силу тока плавным регулированием.

Сварку продольного шва также можно производить с двух сторон обечайки для уменьшения ее длины, вводимой во вторичный контур.

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Изучение измерительной схемы

Измерительная схема представлена на рис. 10.4. Изменение электрических параметров машины производится навешиванием на нижнюю консоль замкнутых ферромагнитных колец. Внутри кольца из-за высокой магнитной проницаемости магнитная индукция возрастает в тысячи раз по сравнению с индукцией в воздухе, создавая дополнительный магнитный поток:

$$\Delta\Phi_k = B_k F_{\Phi}, \quad (10.9)$$

где  $B_k$  — индукция магнитного поля в кольце, который значительно увеличивает общий магнитный поток вторичного контура даже при небольшом сечении кольца, что вызывает увеличение ЭДС самоиндукции и индуктивного сопротивления;  $F_{\Phi}$  — площадь поперечного сечения ферромагнитного кольца.



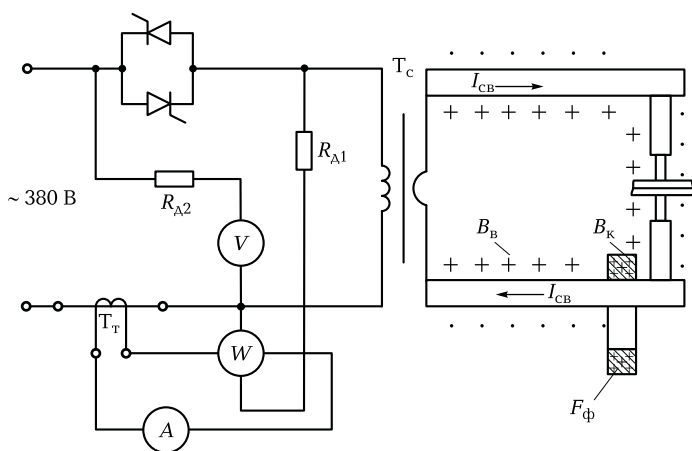


Рис. 10.4. Схема включения измерительных приборов:

$F_{\phi}$  — площадь поперечного сечения ферромагнитного кольца;  $T_T$ ,  $T_C$  — трансформатор тока и сварочный трансформатор;  $V$ ,  $A$ ,  $W$  — вольтметр, амперметр и ваттметр;  $R_{д1}$  и  $R_{д2}$  — сопротивления;  $B_B$  и  $B_K$  — индукция магнитного поля в воздухе и кольце

Наличие прорези в кольце резко снижает магнитную индукцию в кольце и влияние кольца на индуктивное сопротивление.

## Оборудование и материалы

Для выполнения работы используются следующие приборы, материалы и инструменты:

- машина для контактной сварки (по выбору преподавателя);
- измерительные приборы в соответствии со схемой измерения, соединительные провода и инструмент;
- набор колец из ферромагнитного материала;
- пластины из низкоуглеродистой стали для сварки.

## Последовательность выполнения работы

1. Собрать измерительную схему (рис. 10.4).
2. Провести измерение электрических параметров на первой ступени машины, используя в качестве сопротивления  $R_{A-A}$  участок

водоохлаждаемой трубки. Первое измерение провести без ферромагнитных колец, последующие три-четыре измерения провести при постоянном увеличении суммарной площади поперечного сечения ферромагнитных колец, помещенных на нижнюю консоль машины. Результаты измерений занести в табл. 10.1.

3. Обработать результаты электрических измерений и заполнить табл. 10.1.

4. По методике Лабораторной работы № 2 определить параметры режима сварки образцов, установить их на машине и оценить качество полученного ядра точки. При необходимости произвести корректировку параметров режима.

5. Провести сварку образцов для испытания на срез, меняя поперечное сечение ферромагнитных колец по п. 2.

6. Образцы испытать и результаты занести в табл. 10.2.

Таблица 10.1. Результаты электрических измерений

Номер опыта	Площадь сечения ферромагнитных колец $F_{\text{ф}}$ , мм	Сила тока $I_{\text{изм}}$			Активная мощность $N$		Коэффициент мощности $\cos\varphi$	Сила тока в первичном контуре $I_1$ , А	Сила тока во вторичном контуре $I_2$ , А	Полная мощность $M$ , Вт	Коэффициент трансформации сварочного трансформатора $K_{\text{Tc}}$	Коэффициент трансформации трансформатора тока $K_{\text{Tt}}$
		Показания амперметра (число делений)	Погрешность измерения $\Delta I$	Истинное значение, А	Показания ваттметра (число делений)	Погрешность измерения $\Delta N$						
1												
2												
3												
4												
5												

Примечание. Напряжение в первичном контуре  $U_1 = 380$  В.

Таблица 10.2. Результаты механических испытаний образцов

Номер опыта	Площадь сечения ферромагнитных колец $F_{\text{ф}}$ , мм <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка $P_{\text{раз}}$ , Н	Характер разрушения: по основному металлу, по ядру точки
1			
2			
3			
4			
5			

## Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие основные сведения и результаты.

1. Название и цель работы.
2. Схему измерения электрических параметров.
3. Описание приборов с указанием системы, типа, класса точности и предела измерения.
4. Заполненную табл. 10.1.
5. Заполненную табл. 10.2.
6. Графики функций  $I_2 = f_1(F_{\text{ф}})$ ;  $\cos \varphi = f_2(F_{\text{ф}})$ ;  $P_{\text{раз}} = f_3(F_{\text{ф}})$ .
7. Выводы по работе.

## Пояснения к выполнению работы

При обработке результатов электрических измерений нужно использовать пояснения к Лабораторной работе № 9.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова форма магнитного поля вокруг элементов контура и контура в целом?
2. В чем заключается физический смысл индуктивного сопротивления?
3. От каких факторов зависит индуктивное сопротивление вторичного контура?

4. Каково влияние индуктивного сопротивления вторичного контура на электрические параметры машины?
5. В каких случаях может меняться индуктивное сопротивление вторичного контура при сварке? Каково влияние его изменения на качество сварного соединения?
6. Как можно устранить отрицательное влияние на качество сварного соединения, изменения индуктивного сопротивления вторичного контура в процессе сварки?
7. Какие электрические параметры машины измерялись приборами и какие рассчитывались на основании измерений?
8. Как подобрать приборы с необходимыми для измерения электрических параметров машины характеристиками?
9. Как влияют размеры и сплошность ферромагнитного кольца на индуктивное сопротивление вторичного контура?
10. Как определяется цена деления прибора?
11. Как для данной схемы измерения по числу показанных делений ваттметра определялась активная мощность?
12. Как определялись значения  $I_2$  и  $N$ ?
13. Почему и как менялся  $\cos\varphi$  при выполнении работы? В чем состоит значение  $\cos\varphi$ ?
14. Почему и как менялась прочность сварных образцов, сваренных при выполнении работы?
15. Как по результатам эксперимента определить длину обечайки, сваренную из материала образцов с заданным уровнем прочности точек?

# ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН ДЛЯ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ И ШОВНОЙ СВАРКИ

Целью работы является изучение конструкции и работы механических и электрических узлов и систем универсальных машин для контактной точечной и шовной сварки.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Основные сведения

Машины для контактной точечной и шовной сварки (рис. 11.1) должны обеспечивать сжатие деталей с определенным усилием и подвод к ним сварочного тока. Они имеют соответственно привод сжатия  $3$  (рис. 11.1, *а*) и источник тока (сварочный трансформатор  $2$ ). Машины для шовной сварки обычно перемещают детали на шаг точек. Поэтому они имеют привод вращения  $10$  дисковых электродов (роликов) (рис. 11.1, *б*). Конструктивные элементы машин (консоли, электрододержатели, электроды, ролики, корпус, кронштейны, подкосы) воспринимают значительные усилия от привода сжатия и теплового расширения металла в зоне сварки. Некоторые из них, входящие во вторичный контур машины, служат одновременно токоподводящими элементами.

Машины для контактной точечной (рельефной) и шовной сварки можно классифицировать по многим признакам:

- по назначению: универсальные, специализированные, специальные;
- способу установки: стационарные и подвижные;
- виду импульса сварочного тока: переменного тока, низкочастотные, конденсаторные, постоянного тока и др.;

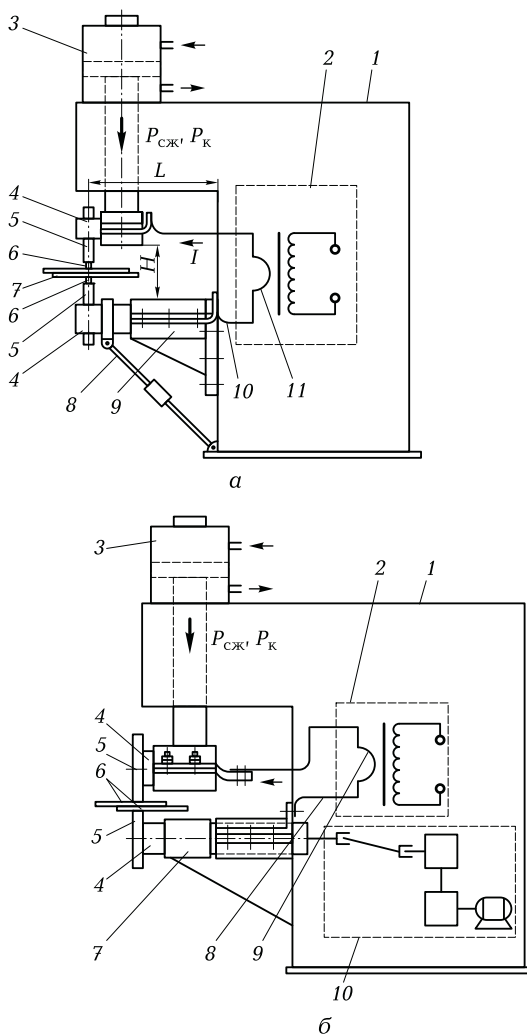


Рис. 11.1. Схемы универсальных машин:

*а* — для точечной сварки: 1 — корпус; 2 — сварочный трансформатор; 3 — привод сжатия; 4 — консоли; 5 — электрододержатели; 6 — электрод; 7 — детали; 8 — подкос; 9 — кронштейн; 10 — гибкие шины; 11 — вторичный виток трансформатора; *б* — для шовной сварки: 1 — корпус; 2 — сварочный трансформатор; 3 — привод сжатия; 4 — консоли; 5 — ролики; 6 — детали; 7 — кронштейн (держатель); 8 — гибкие шины; 9 — вторичный виток трансформатора; 10 — привод вращения ролика;  $I$  — сварочный ток;  $P_{сж}$  и  $P_{к}$  — усилия сжатия электродов при сварке и проковке соответственно;  $H$  — минимальное расстояние между консолями машины при сжатых электродах;  $L$  — вылет консоли

- направлению движения электродов: с прямолинейным (чаще вертикальным) ходом и движением по дуге окружности или радиальным ходом;
- способу подвода тока к месту сварки: со стороны двух деталей и со стороны одной детали;
- числу одновременно свариваемых точек: одноточечные (одношовные), двухточечные (двухшовные), многоточечные (многосшовные);
- направлению вращения дисковых электродов: для сварки продольных, поперечных швов, универсальные (для обоих видов швов).

Универсальные машины (см. рис. 11.1) применяют для сварки деталей различной формы и размеров при значительном разнообразии толщины деталей и видов используемых металлов. Специализированные машины позволяют сваривать детали лишь определенного типа, близкие между собой по форме, размерам, толщине и типу металла, или строго определенные детали. Такие машины часто применяют в массовом производстве в составе автоматических линий.

Машины средней и большой мощности имеют значительную массу (0,5... 16 т). Их обычно устанавливают стационарно, а детали перемещают во вторичном контуре машины.

Стационарные машины универсального назначения чаще всего имеют прямолинейный ход электродов. Обычно нижний электрод неподвижен, а верхний перемещается в вертикальном направлении.

При точечной сварке крупногабаритных деталей машины изготавливают с горизонтальной осью электродов, а для сварки деталей сложной формы — даже с наклонной осью. Стационарные машины малой мощности, а также передвижные обычно имеют радиальный ход одного из электродов. В этом случае доступ к месту сварки улучшается. В таких машинах привод сжатия деталей чаще устанавливают за осью качания подвижной консоли.

Сварочный ток подводится обычно с обеих сторон деталей. За один цикл получается одна точка. По такой схеме работает подавляющее большинство универсальных машин для контактной точечной сварки. В массовом производстве часто применяют машины для многоточечной и многосшовой контактной сварки. Они значительно увеличивают производительность при изготовлении определенных либо однотипных деталей. В таких машинах бывает двухсторонний и односторонний подвод тока.

## Привод сжатия свариваемых деталей

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

Привод машин для точечной сварки должен осуществлять два вида перемещения электродов: рабочий и дополнительный ход. *Рабочий* ход происходит во время паузы между сваркой точек 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.

Привод сжатия машин для шовной сварки обычно проще по конструкции, чем точечных. Ковочное усилие применяют сравнительно редко, а предварительное обжатие точек не делают. Кроме того, необходимость двойного хода дисковых электродов часто отпадает, так как привод имеет увеличенный рабочий ход.

*Пневматический привод* наиболее распространен в стационарных машинах средней и большой мощности (до 1 000 кВт·А) при усилии от 1 500... 2 000 Н до 150... 200 кН. 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, пневмо- и электроаппаратуры можно создать почти любой график приложения 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 и шовной сварки, а также в машинах для многоточечной сварки.

Использование в качестве рабочей жидкости масла и воды под большим давлением позволяет резко уменьшить площадь поперечного сечения цилиндров и массу привода. Такие давления создают различными насосами (шестеренными, поршневыми, лопастными и пр.), а также пневмогидравлическими мультипликаторами.



## Привод вращения дисковых электродов

Привод вращения дисковых электродов должен обеспечивать надежное и регулируемое перемещение свариваемых деталей на шаг точек. Он вносит дополнительное разнообразие в конструкцию и компоновку шовных машин.

В зависимости от назначения, мощности и типа машины вращение дисковых электродов может быть непрерывным и прерывистым.

Привод непрерывного вращения представляет собой обычно электроредукторную систему со сменными шестернями и карданным валом. Вал соединен с нижней консолью непосредственно или с верхней консолью через конические шестерни. Для регулирования скорости применяют бесступенчатый вариатор скоростей, двигатель постоянного тока или муфту скольжения.

На рис. 11.2 показан один из таких приводов. Вращение от асинхронного двигателя 11 (рис. 11.2, а) через электроуправляемую муфту скольжения 10, планетарный редуктор 9 и карданный вал 8 передается на конические шестерни 4—7 (рис. 11.2, б). Затем через пару цилиндрических шестерен 3, 2 крутящий момент передается верхнему дисковому электроду 1.

Приводным дисковым электродом может быть верхний, например в машинах для сварки продольных швов и с универсальной головкой (см. рис. 11.2, б), или нижний, например для сварки поперечных швов. Существует также привод вращения с подачей крутящего момента сразу на оба дисковых электрода.

Для прерывистого (шагового) вращения дисковых электродов применяют несколько систем. В современных машинах для шовной сварки используют главным образом пневматические шаговые устройства и магнитные муфты, которые обеспечивают необходимое быстродействие и надежны в работе.

## Конструктивные элементы машин

Корпус 1 (см. рис. 11.1) должен обеспечивать удобное расположение всех узлов машин для точечной и шовной сварки, быть достаточно прочным и жестким, а также оказывать минимальное влияние на электрические параметры машины.

Для удобства монтажа и беспрепятственного доступа к узлам машины корпус обычно имеет окна, проемы, закрываемые быстростъемными щитками, дверьми. При работе он испытывает значительные статические и динамические нагрузки. Особое значение имеет жест-

кость передней стенки, часто ослабляемой окном (для пропускания гибких шин от трансформатора к консолям). В целях уменьшения влияния ферромагнитных масс корпуса на индуктивное сопротивление

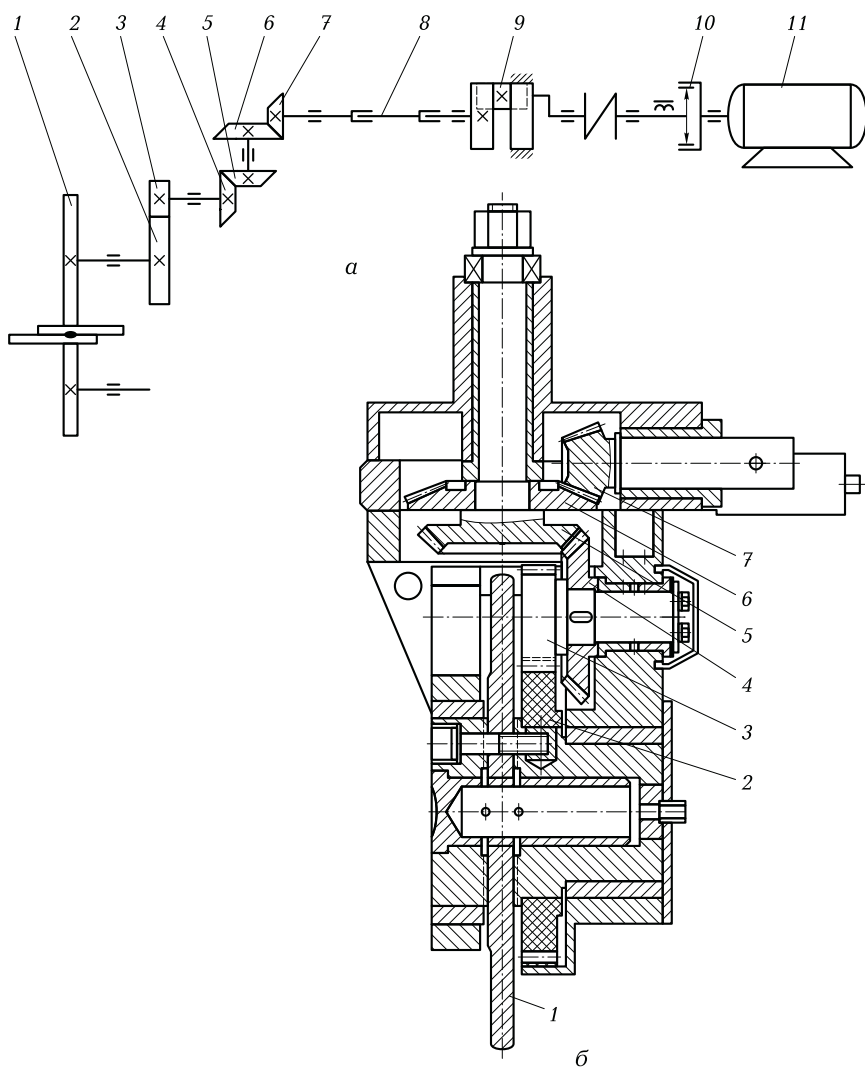


Рис. 11.2. Схема (а) и конструкция (б) привода непрерывного вращения верхнего ролика универсальной машины МШ-2001:

1 — дисковый электрод; 2, 3 — шестерни; 4–7 — конические шестерни; 8 — карданный вал; 9 — планетарный редуктор; 10 — муфта скольжения; 11 — асинхронный двигатель

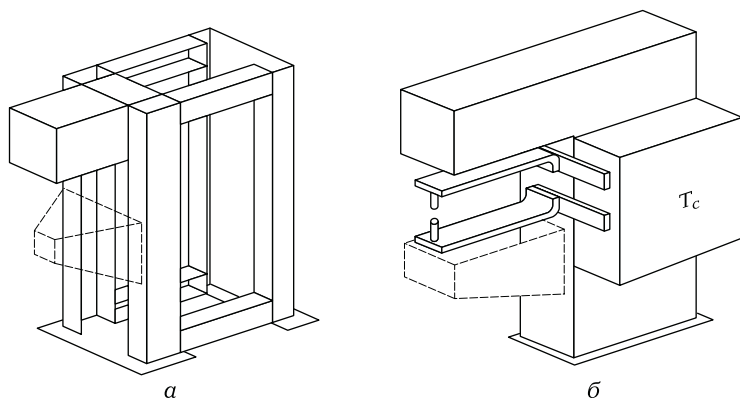


Рис. 11.3. Конструкции корпусов стационарных машин:

*а* — сварной жесткий каркас из труб и профилей; *б* — корпус коробчатой формы из несущих стальных плит; Т<sub>с</sub> — сварочный трансформатор

ление вторичного контура его стараются по возможности удалить от стенок корпуса.

Корпус стационарной машины представляет собой стальную цельносварную конструкцию. В машинах малой и средней мощности типов МТ, МШ, МР его изготавливают в виде сварного жесткого каркаса из труб или профилей (рис. 11.3, *а*), к которому затем приваривают сравнительно тонкую обшивку (толщиной 3...6 мм). В более мощных машинах типов МТБ, МШВ, МТК его выполняют коробчатой формы из несущих стальных плит толщиной 10...30 мм (рис. 11.3, *б*). Для увеличения жесткости передней стенки трансформатор располагают сбоку.

Консоли служат для передачи сварочного тока от вторичной обмотки трансформатора к электрододержателям. Они воспринимают также (полностью или частично) усилие сжатия деталей и бывают различной длины  $L$  (см. рис. 11.1, *а*). Их изготавливают из местных сплавов в виде труб, стержней, пластин с внутренним (водяным) или наружным (воздушным) охлаждением.

В машинах с поступательным движением электродов средней и большой мощности консоли обычно разгружают стальными или чугунными кронштейнами  $9$  (опорами или держателями), винтовыми подкосами  $8$ . Последние воспринимают усилие сжатия, а консоли в основном передают ток.

Для регулировки соосности рабочей поверхности электродов консоли можно выдвигать из кронштейнов, поворачивать вокруг

оси. Кроме того, нижняя консоль может переставляться вверх и вниз на шаг болтов, крепящих кронштейн к корпусу, или перемещаться плавно по направляющим.

Жесткость консолей и кронштейнов оценивают по величине упругого перемещения электродов при номинальном усилии сжатия. Увеличенный изгиб консоли может вызвать относительное смещение электродов и дополнительную деформацию сварных узлов. Поэтому прогиб регламентируется ГОСТом (для консолей длиной до 500 мм не более 1,2 мм, до 1 200 мм — 1,6 мм, более 1 200 мм — 2,5 мм).

Применение подкосов несколько сужает технические возможности машины (ограничивает длину и минимальный диаметр свариваемой обечайки), но существенно уменьшает деформацию нижней консоли.

*Электрододержатели* (рис. 11.4) служат для крепления электродов, являются токопроводящими и силовыми элементами. Изготовленные из прочных, электропроводных медных сплавов, они имеют обычно конусное отверстие для электродов и систему внутреннего охлаждения.

Конусная посадка электродов обеспечивает надежный электрический контакт, хорошую герметизацию внутренней полости и центровку осей. Система внутреннего охлаждения обычно состоит из штуцеров, внутренней подающей трубки и наружного сливного канала (рис. 11.4, а, б). Срез трубки выполняют под углом  $45^\circ$  с тем, чтобы вода могла свободно омыwać дно электрода даже при касании трубки. В электрододержателях, применяемых в труднодоступных местах, система каналов может быть более сложной (рис. 11.4, в, г).

При необходимости частой смены электродов усложняют конструкции электрододержателей, встраивая в них выталкиватели. Одна из конструкций выталкивателя показана на рис. 11.4, б. Выталкивание осуществляют ударом по головке штока.

В небольших машинах для точечной сварки электрододержатели могут отсутствовать, тогда электроды закрепляют непосредственно в консолях.

*Обычные и дисковые электроды* служат для непосредственного подвода к свариваемым деталям тока и усилия сжатия.

Условия и режимы работы электродов весьма сложные, определяемые следующими факторами:

- высокой температурой в контакте электрод — деталь;
- значительными усилиями на рабочей поверхности, носящими ударный характер;

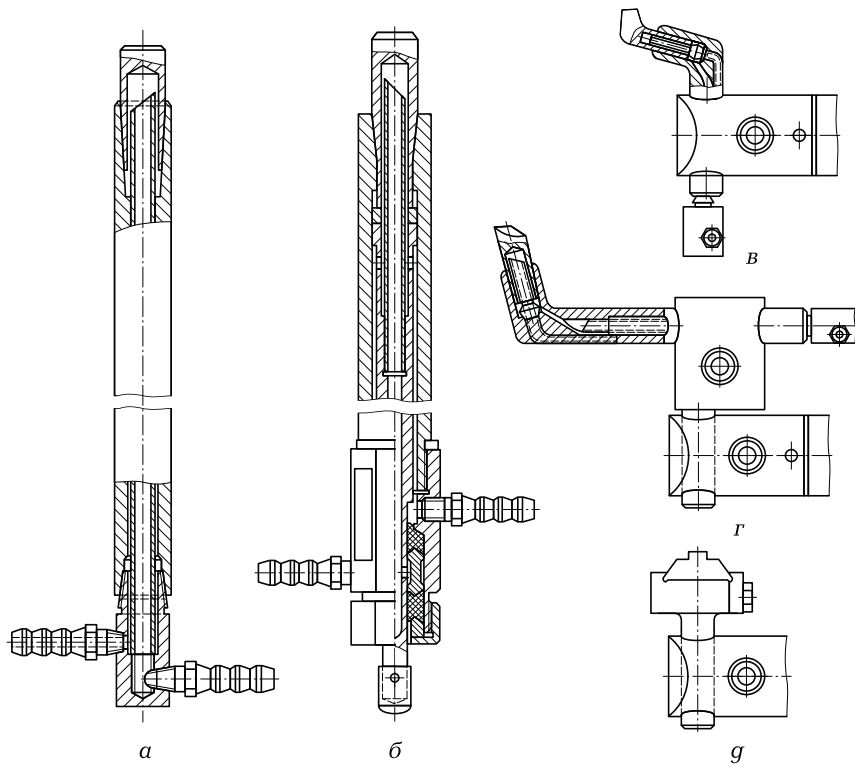


Рис. 11.4. Электрододержатели:

*a* — обычный цилиндрический; *б* — цилиндрический со встроенным выталкивателем; *в-г* — изогнутые; *д* — цилиндрический для специальных электродов

- циклическим нагревом и нагреванием рабочей поверхности;
- изменением химического состава металла рабочей части электрода, находящегося в контакте со свариваемыми деталями.

Конструкции электродов для точечной и шовной сварки весьма разнообразны. Электроды бывают прямые, фигурные и специальные (рис. 11.5). Конструктивное оформление определяется типом металла, толщиной и формой деталей, размерами нахлестки, доступом к месту сварки. Прямые электроды (рис. 11.5, *a*), как более простые, технологичные и жесткие, получили наибольшее применение для конструкций с хорошим доступом к месту сварки.

Фигурные электроды, у которых центр рабочей поверхности смещен относительно оси посадочной части, ограничивают сварочное и, в осебенности, ковочное усилие. Это несколько снижает стойкость рабочей поверхности. Однако такие электроды нашли большое распространение для сварки тонколистовых конструкций из стали, никелевых и титановых сплавов.

Корпус электрода воспринимает большие усилия и токи. Его изготавливают из прутков или отливок диаметрами (ГОСТ 14111—69 «Электроды прямые для контактной точечной сварки. Типы и размеры») 12; 16; 20; 25; 32 и 40 мм. У электродов, предназначенных для микросварки (рис. 11.5, в), его диаметр значительно меньше.

Диаметр выбирают из расчета  $D_3 = (0,04 \dots 0,06)P_{сж}$ , где  $P_{сж}$  — наибольшее усилие сжатия.

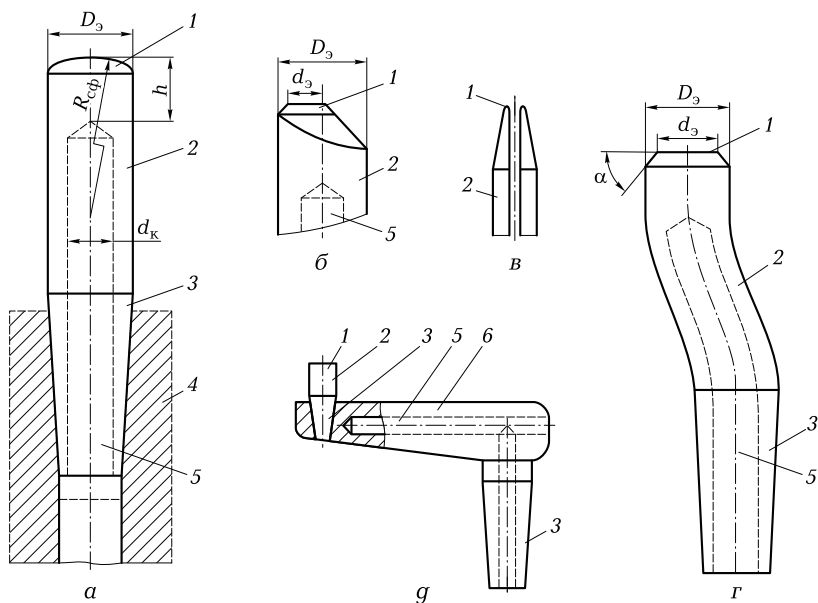


Рис. 11.5. Электроды для точечной сварки:

а — прямой; б — прямой со смещенной рабочей поверхностью; в — сдвоенный (для микросварки); г — изогнутый; д — прямой (вставка) с фигурным переходником; 1 — рабочая поверхность; 2 — корпус; 3 — хвостовик; 4 — электрододержатель; 5 — канал для охлаждения водой; б — переходник;  $D_3$  — диаметр электрода;  $d_3$  — диаметр рабочей части электрода;  $d_k$  — диаметр канала охлаждения;  $h$  — расстояние от канала охлаждения до рабочей поверхности электрода;  $R_{сф}$  — радиус сферической заточки электрода;  $\alpha$  — угол скоса электрода

Плоскую форму рабочей поверхности (рис. 11.5, б, г) используют главным образом для сварки сталей, жаропрочных сплавов. Диаметр рабочей площадки при этом выбирают близким к номинальному диаметру ядра  $d_{я}$ . Угол скоса  $\alpha$  составляет около  $30^\circ$ . Увеличение угла скоса понижает стойкость электродов из-за более интенсивного смятия рабочей поверхности. Уменьшение угла скоса усиливает колебания размеров  $d_{я}$  даже при небольших деформациях. При сварке электродами с плоской рабочей поверхностью колебания  $P_{св}$  меньше влияют на  $d_{я}$ , чем при сварке со сферической рабочей поверхностью.

Сферическая форма рабочей поверхности имеет лучшие технологические характеристики: обеспечивает хорошие условия отвода теплоты от деталей в электроды, большую стойкость, уменьшенную склонность к образованию наружных выплесков, обеспечивает плавные и минимальные отпечатки от электродов даже при небольших наклонах конструкции. Такая форма целесообразна для сварки узлов из алюминиевых и магниевых сплавов, а также для сварки латуни, титановых сплавов, деталей неравной толщины. Однако она требует несколько большей нахлестки.

Радиус сферы и диаметр  $D_s$  зависят от толщины деталей и режима сварки. Например, при толщине деталей  $(0,3 + 0,3)$  мм  $R_{сф} = 25$  мм, при толщине  $(5 + 5)$  мм  $R_{сф} = 250$  мм. Как правило, более жесткие режимы требуют увеличения радиуса сферы (для уменьшения опасности выплеска).

Иногда в целях полного устранения отпечатка от электродов (на одной из деталей) намеренно увеличивают диаметр плоской рабочей поверхности одного из электродов. Однако с противоположной стороны глубина отпечатка почти удваивается.

Хвостовик электрода 3 (рис. 11.5, г) обычно конусной формы должен обеспечивать надежный электрический контакт с конусным отверстием электрододержателя, герметичность сочленения и легкий съем. Конусность устанавливают в зависимости от максимального усилия и диаметра электрода (при усилии до 15 000 Н и диаметре до 25 мм — 1 : 10, свыше — 1 : 5).

Извлекают электроды из конусного гнезда вращением или выталкиванием. Для вращения применяют специальные съемники с винтовым зажимом электрода стальными призмами. Рабочая поверхность призм сделана с насечкой для предотвращения их проскальзывания относительно электрода при повороте съемника. Однако при таком способе извлечения усиливается износ посадочных (конусных) поверхностей, а также боковой (цилиндрической) поверхности электрода.

При выталкивании клином электрод должен иметь буртик. Клин в виде стальной вилки с небольшим углом наклона ( $10 \dots 15^\circ$ ) вводят между торцом электрододержателя и буртиком электрода. Ударом молотка по торцу клина электрод быстро выталкивают из гнезда. Однако при таком способе изнашивается буртик, возникает опасность изгиба электрододержателя и электродов.

Более эффективным является выталкивание путем вращения гайки на электрододержателе. Таким способом можно быстро удалить электрод без повреждения посадочных поверхностей. Для извлечения электрода в ряде случаев можно применять выталкиватели, встраиваемые в электрододержатели.

Внутри электроды обычно имеют канал для охлаждения водой (см. рис. 11.5, *a*), которая поступает по трубке как можно ближе к рабочей поверхности. Диаметр канала  $d_k = (0,5 \dots 0,6)D_p$ . На новых электродах расстояние  $h = (0,75 \dots 0,8)D_p$  и сильно влияет на стойкость электрода, общее число сварных точек.

Дисковые электроды (ролики) (рис. 11.6) представляют собой массивные диски диаметром до 500 мм (чаще 120... 400 мм). Для внутреннего охлаждения в их рабочей поверхности делают канавки с уплотнением, предотвращающим вытекание воды при вращении

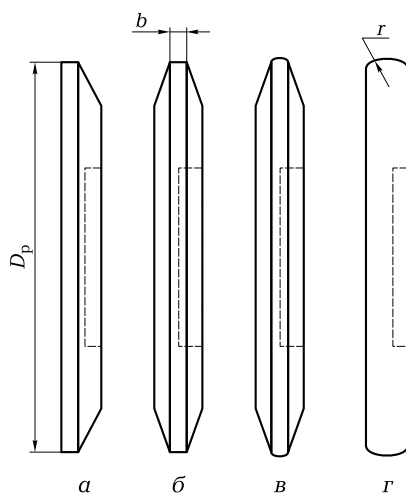


Рис. 11.6. Форма рабочей поверхности дисковых электродов (роликов):

- a* — без закругления (цилиндрическая) с односторонним скосом;
- б* — без закругления (цилиндрическая) с двухсторонним скосом;
- в* — закругленная с двухсторонним скосом;
- г* — закругленная без скоса;
- $D_p$  — диаметр ролика;
- $b$  — ширина контактной площадки;
- $r$  — радиус закругления



дисковых электродов. Чаще всего внутреннее охлаждение роликов сочетают с наружным.

Размеры и форма дисковых электродов определяются толщиной, типом металла и формой свариваемых деталей, видом привода вращения. Толщина дисковых электродов обычно в 2 — 3 раза больше ширины их рабочей поверхности. Рабочую поверхность дисковых электродов выполняют без закругления (цилиндрической) либо с радиусным закруглением. Достоинства и недостатки той или иной формы такие же, как у электродов для точечной сварки. Размеры рабочей поверхности определяются толщиной детали, жесткостью режима сварки. Ширина контактной площадки  $b$  соответствует диаметру плоской поверхности электрода  $d_э$  для точечной сварки, а радиус закругления  $r$  увеличивается от 15 мм при толщине деталей (0,3 + 0,3) мм до 400 мм при толщине (5 + 5) мм. Ширина контактной площадки зависит также от диаметра ролика  $D_p$ , поэтому его размеры дополнительно характеризуют рабочую поверхность.

Плоскую рабочую поверхность зачищают без выемки электродов из гнезда. Сильно деформированную контактную поверхность перетачивают чаще со съемом электродов, однако в ряде случаев такая обработка может быть выполнена непосредственно в сварочной машине. Сферическую рабочую поверхность электродов обычно зачищают наждачным полотном 2, обернутым вокруг жесткой резиновой пластины 1 толщиной 15... 20 мм (рис. 11.7). Сжатую электродами с небольшим усилием пластину вращают относительно оси электрода, после чего рабочую поверхность протирают чистой тканью. Шероховатость электрода должна быть минимальной, поэтому наждачное полотно должно быть мелкозернистым (№ 3, 4). Однако

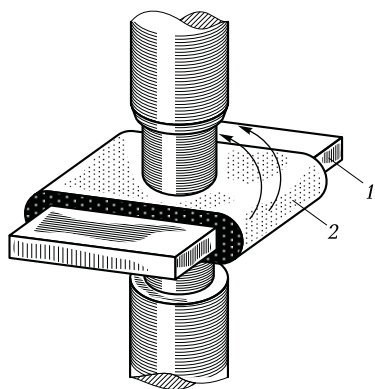


Рис. 11.7. Зачистка электродов:  
1 — резиновая пластина;  
2 — наждачное полотно

при плохой подготовке поверхности деталей зернистость полотна следует увеличить для лучшего контакта.

Плоские электроды зачищают личным напильником или наждачным полотном. Снимают тонкий слой загрязненного металла, нарушая параллельности поверхностей.

При износе рабочей поверхности из-за деформации необходимо снимать более толстый слой металла. Размеры контролируют шаблонами или по отпечатку в пластичном металле (например, свинце). Заправка производится после сварки, а рабочую поверхность затем протирают чистой тканью. Иногда для восстановления исходной формы роликов применяют обкатку стальными роликами, кольцами.

## Основные технологические характеристики универсальных машин

Выбор машины для сварки конкретных деталей определяется методом сварки, типом металла и толщиной деталей, размерами и конфигурацией узла, требованиями к качеству соединений, производительностью процесса и т. д.

В табл. 11.1 и 11.2 представлены основные технологические характеристики современных универсальных машин стационарного типа с радиальным (МТР, МТПР, МШПР) и поступательным (остальные) движением верхней консоли. Условные обозначения типа машин: П — переменного тока, Н — низкочастотные, К — конденсаторные, В — с выпрямлением во вторичном контуре. Максимально возможные размеры свариваемых обечаек даны для машин со снятым подкосом.

Цифровые обозначения в машинах ранних выпусков соответствуют номинальной мощности (киловольт-ампер), например МТП-200, МТПУ-300, МТПТ-400 и т. д. В современных машинах за основу цифрового обозначения приняты номинальный вторичный ток (килоампер) и модификация разработки, например МТ-1607 (сила тока 16 кА, 7-я модификация), МШВ-6301 (сила тока 63 кА, 1-я модификация).

Машины переменного тока типа МТ, МТП, МТПУ, МЦ, МШП предназначены главным образом для сварки сталей, титановых сплавов с толщиной деталей 0,8... 3 (4) мм и длиной до 2 400 мм (машина МТП-200-1200). Машина МТПУ-300, обладая возможностью двухимпульсного цикла, модулирования импульса тока и приложения ковочного усилия, позволяет сваривать низколегированные стали и алюминиевые сплавы (небольшой толщины).

Таблица 11.1. Технологические характеристики машин для шовной сварки

Показатель	МШ-2001	МШП-150-13	МШПР-300-1200	МШПИ-400-2	МШПТ-600	МШПТ-1000	МШВ-6301	МШВ-1601
Сила номинального тока, А	20	20	25	63	100	160	63	16
Тип машины	П	П	П	Н	Н	Н	В	В
Номинальная мощность, кВт·А	130	150	300	400	600	1000	450	120
Толщина деталей, мм: из сталей	0,5... 1,8	0,5... 2	0,5... 2,5	0,5... 2,5	1... 3,5	1,5... 4	0,3... 2,5	0,4... 1,8
из алюминиевых сплавов	—	—	0,5... 1,2	0,5... 2,8	1,2... 3,5	1,5... 4,5	0,5... 2,5	0,5... 1,2
Длина консолей, мм	800	800	1200	1200	1500	1500	1200	1200
Усилие, Н: сварочное	2300... 8000	2500... 8000	2500... 16000	2500... 8000	5500... 22000	7000... 38000	2000... 11000	2000... 9500
максимальное ковочное	—	—	—	—	50000	7000	22000	22000
Сопротивление вторичного контура, мкОм	45	32	36	45	23	19	17	22
Скорость движения роликов, м/мин	0,6... 4,5	0,5... 1,9	0,5... 2	—	—	—	0,2... 8	0,2... 8
Диаметр обечайки, мм	300	400	340	350	850	950	320	600
Длина обечайки, мм	750	400	1150	1150	1450	1450	1000	1450

Таблица 11.2. Технологические характеристики универсальных машин для точечной сварки

Показатель	МП-1209	МП-1607	МП-1609	МП-2507	МТП-75-15	МТП-200-7	МТП-150-1200	МТП-200-1200
Сила номинального тока, А	12,5	16	16	25	12,5	25	16	20
Тип машины	П	П	П	П	П	П	П	П
Номинальная мощность, кВт·А	50	90	85	170	56	180	170	190
Толщина деталей, мм: из сталей	0,3... 1,5	0,3... 1,8	0,3... 1,8	0,5... 3	0,4... 1,5	0,5... 2,9	0,5... 2,8	0,8... 4
из алюминиевых сплавов	—	—	—	0,5... 1,2	—	0,5... 1,2	—	—
Длина консолей, мм	400	500	600	500	500	500	1 200	1 200

Усилие, Н: сварочное	800 ... 5 000	1 200 ... 6 300	1 200 ... 6 300	2 200 ... 16 000	1 500 ... 6 500	2 500 ... 14 000	2 000 ... 15 000	2 500 ... 24 000
максимальное ковочное	—	—	—	—	—	—	—	—
Сопротивление вторичного кон- тура, мкОм	75	63	65	37	45	32	50	40
Диаметр обечай- ки, мм	250	490	300	480	400	400	520	480
Длина обечайки, мм	400	480	570	480	480	480	1 100	950

Показатель	МПП-400	МПП-600	МПК-5001	МПК-6301	МПК-75	МТВ-6303	МТВ-8001	МТПУ-300
Сила номинального тока, А	73	102	50	63	80	63	80	10
Тип машины	Н	Н	К	К	К	В	В	П
Номинальная мощность, кВт	400	600	30	40	75	500	675	—
Толщина деталей, мм:								
из стали	0,5...8	1...4	0,3...1,2	0,4...1,5	0,5...1,5	3...12	0,8...6	0,3...1
из алюминиевых сплавов	0,8...2,5	1,5...4,5	0,3...1,8	0,4...2	0,8...2,5	—	1...4,5	—
Длина консолей, мм	1500	1500	500	1200	1500	1200	1500	400
Усилие, Н: сварочное	2500... 10000	5500... 25000	1500... 8000	1500... 9500	2500... 14000	10000... 60000	3750... 35000	750...3000

максимальное ковочное	32 000	55 000	17 500	20 000	32 000	100 000	63 000	—
Сопротивление вторичного контура, мкОм	26	23	25	33	26	2	13	50
Диаметр обечайки, мм	500	650	480	320	500	1 100	1 100	210
Длина обечайки, мм	650	650	470	1 000	650	1 200	1 500	300

### **Оборудование и материалы**

Работа выполняется на универсальной стационарной машине для точечной сварки, марка которой выбирается преподавателем. Дополнительно к методическому указанию можно использовать паспорт и описание машины.

### **Последовательность выполнения работы**

1. Изучить конструкцию и работу основных узлов и систем машины.
2. Изучить настройку регулятора.
3. Включить машину (воду, воздух, сеть) и испытать ее без сварочного тока (на холостом ходу) и под током.

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать следующие основные сведения и результаты:

- 1) название и цель работы;
- 2) обозначение марки машины и его расшифровку;
- 3) схему привода сжатия и системы охлаждения;
- 4) схему связи регулятора с органами машины;
- 5) описание способов регулирования сварочного тока;
- 6) одноимпульсную и многоимпульсную циклограммы работы машины.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

---

1. Перечислите основные параметры машины, используя обозначение ее марки.
2. Каковы назначение, устройство и порядок работы системы охлаждения?
3. Каковы назначение, устройство и порядок работы привода сжатия?



4. Каковы назначение, устройство и порядок работы пневматического привода сжатия?
5. Как осуществляется установка требуемого усилия сжатия электродов на машине?
6. Каковы назначение, конструкция и принцип работы тиристорного контактора?
7. Перечислите способы регулирования сварочного тока на машине.
8. Как производится установка временных фаз цикла на регуляторе машины?
9. Как производится установка многоимпульсного режима сварки?
10. Каковы назначение и конструкция электродов?
11. Как форма рабочей поверхности электродов влияет на качество сварки?
12. Перечислите особенности конструкции дисковых электродов (роликов).

### **ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА МАШИНАХ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ**

Работа студентов на машинах для контактной сварки производится под наблюдением преподавателя или мастера производственного обучения после инструктажа по безопасным методам работы.

#### **1. Категорически запрещается:**

1.1. Включать машину без разрешения преподавателя или мастера производственного обучения.

1.2. Самостоятельно устранять неисправности в машине.

**2. Для устранения опасности поражения оператора электрическим током при работе и наладке машины для контактной сварки необходимо соблюдать следующие требования:**

2.1. Сварочная цепь в машинах для контактной сварки должна иметь электрическое соединение с корпусом машины, а корпус должен быть заземлен.

2.2. Конструкция переключателей ступеней трансформаторов машин для контактной сварки должна исключать возможность случайного прикосновения к элементам, находящимся под напряжением сети.

2.3. Шкафы, пульты и станции машин для контактной сварки, внутри которых расположена электроаппаратура с открытыми токоведущими частями, находящимися под напряжением свыше 36 В, должны иметь дверцы с блокировкой, обеспечивающей отключение напряжения сети от электроаппаратуры при открывании дверцы.

2.4. Приборы и устройства, применяющиеся при наладке и испытании машин для контактной сварки и питающиеся от сетевого напряжения, должны иметь заземление или зануление.

2.5. При снятии электрических характеристик и параметров машины запрещается производить переключение измерительных приборов соединительными проводами при включенной машине. Работая с приборами, будьте осторожны! Напряжение 380 В!

**3. Для устранения опасности поражения оператора подвижными механическими частями машины для контактной сварки необходимо соблюдать следующие требования:**

3.1. Запрещается помещать пальцы или ладонь руки в пространство между электродами как при включенной, так и при выключенной машине.

3.2. При сварке деталей или образцов пальцы рук должны находиться в зоне, безопасной от действия подвижных электродов машины.

3.3. При работе на машинах для контактной шовной сварки необходимо быть внимательным и исключать возможности попадания пальцев рук между вращающимися роликами.

**4. Для устранения опасности поражения оператора брызгами расплавленного металла и искрами необходимо соблюдать следующие требования:**

4.1. Конструкция машин для контактной сварки должна позволять установку на машинах ограждающих устройств для защиты от выплесков металла и искр.

4.2. Работавшую машину необходимо ограждать от соседних машин специальными щитами или ширмами.

4.3. Сварку на машинах для контактной сварки оператор должен выполнять в спецодежде, в комплект которой входят халат, ботинки, берет, рукавицы и очки.

5. Лица, не выполняющие настоятельную инструкцию, привлекаются к ответственности согласно правилам внутреннего трудового распорядка предприятия.

## Список литературы

1. *Гуляев А. И.* Технология точечной и рельефной сварки / А. И. Гуляев. — М. : Машиностроение, 1978. — 245 с.
2. *Кочергин К. А.* Контактная сварка / К. А. Кочергин. — Л. : Машиностроение, 1987. — 240 с.
3. *Кучук-Яценко С. И.* Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением / С. И. Кучук-Яценко, В. К. Лебедев. — Киев : Наукова думка, 1976. — 212 с.
4. *Овчинников В. В.* Сварщик на машинах контактной (прессовой) сварки / В. В. Овчинников. — М. : Издательский центр «Академия», 2008. — 64 с. — (Сварщик).
5. *Орлов Б. Д.* Контроль точечной и роликовой электросварки / [Б. Д. Орлов, П. Л. Чулошников, В. Б. Верденский, А. Л. Марченко]. — М. : Машиностроение, 1973. — 304 с.
6. *Орлов Б. Д.* Технология и оборудование контактной сварки / Б. Д. Орлов, Ю. В. Дмитриев, А. А. Чакалев. — М. : Машиностроение, 1975. — 536 с.
7. *Шавырин В. Н.* Клеесварные конструкции / В. Н. Шавырин, В. И. Рязанцев. — М. : Машиностроение, 1981. — 156 с.

## Содержание

Предисловие .....	4
<b>Лабораторная работа № 1.</b> Изучение характера формирования соединения при контактной точечной сварке.....	6
<b>Лабораторная работа № 2.</b> Выбор режимов контактной точечной сварки и исследование качества сварного соединения .....	20
<b>Лабораторная работа № 3.</b> Изучение особенностей формирования соединения при контактной шовной сварке.....	31
<b>Лабораторная работа № 4.</b> Технологические особенности контактной рельефной сварки .....	44
<b>Лабораторная работа № 5.</b> Выбор режимов контактной стыковой сварки и исследование качества сварного соединения .....	56
<b>Лабораторная работа № 6.</b> Изучение технологии контактной точечной сварки по слою клея и грунта .....	73
<b>Лабораторная работа № 7.</b> Изучение конструкции и работы подвесной контактной машины МТП-1409 .....	91
<b>Лабораторная работа № 8.</b> Измерение сопротивления вторичного контура машины для контактной сварки постоянному току .....	104
<b>Лабораторная работа № 9.</b> Определение электрических параметров машины для контактной сварки.....	112
<b>Лабораторная работа № 10.</b> Выявление влияния ферромагнитных масс на электрические параметры машин для контактной сварки и качество сварного соединения .....	123
<b>Лабораторная работа № 11.</b> Изучение конструкции и работы универсальных стационарных машин для контактной точечной и шовной сварки.....	133
<b>Приложение.</b> Инструкция по технике безопасности при работе на машинах для контактной сварки.....	154
Список литературы .....	156

*Учебное издание*

**Овчинников Виктор Васильевич**  
**Технология и оборудование контактной сварки**  
**Лабораторно-практические работы**

**Учебное пособие**

5-е издание, стереотипное

Редакторы *В. А. Новиков, Е. Б. Махиянова*  
Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*  
Компьютерная верстка: *Г. Ю. Никитина*  
Корректор *С. Ю. Свиридова*

Изд. № 705214191. Подписано в печать 18.11.2016. Формат 60×90/16.  
Гарнитура «Балтика». Усл. печ. л. 10,0.

ООО «Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)  
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU.ПЩ01.Н00695 от 31.05.2016.



## **Предлагаем вашему вниманию следующие книги:**

---

**В. В. ОВЧИННИКОВ**

### **РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Объем 256 с.

Учебник предназначен для изучения предмета «Расчет и проектирование сварных конструкций» и является частью учебно-методического комплекта по специальности «Сварочное производство».

Рассмотрены основы расчета и конструирования сварных узлов различного назначения. Приведены справочные материалы, необходимые для выполнения расчета сварных соединений на прочность и подготовки курсовых проектов. Представлены современные технологические решения элементов и узлов сварных конструкций.

Может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.02 «Разработка технологических процессов и проектирование изделий» (МДК.02.01) по специальности «Сварочное производство».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

**В. В. ОВЧИННИКОВ, М. А. ГУРЕЕВА**

### **СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Объем 304 с.

В учебном пособии рассмотрены общие вопросы выбора материалов для изготовления сварных конструкций. Приведены сведения по химическим составам и свойствам сталей, алюминиевых и титановых сплавов, используемых в сварных конструкциях. Описаны материалы с особыми свойствами — порошковые материалы, гранулированные сплавы и пористые материалы. Отражено влияние применения сварочных материалов на свойства сварных соединений. Даны типовые решения по применению металлических и неметаллических сварочных материалов.

Учебное пособие может быть использовано при освоении профессионального модуля ПМ.01 «Подготовка и осуществление технологических процессов изготовления сварных конструкций» по специальности «Сварочное производство».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования. Может быть полезно специалистам, занимающимся производством сварных конструкций.

---

**[www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)**

---



---

# Издательский центр «Академия»

---

*Учебная литература  
для профессионального  
образования*

---

## Наши книги можно приобрести (оптом и в розницу)

### Москва:

129085, Москва, пр-т Мира, д. 101в, стр. 1  
(м. Алексеевская)  
Тел.: (495) 648-0507, факс: (495) 616-0029  
E-mail: sale@academia-moscow.ru

### Филиалы:

#### Северо-Западный

194044, Санкт-Петербург, ул. Чугунная,  
д. 14, оф. 319  
Тел./факс: (812) 244-9253  
E-mail: spboffice@acadizdat.ru

#### Приволжский

603101, Нижний Новгород, пр. Молодежный,  
д. 31, корп. 3  
Тел./факс: (831) 259-7431, 259-7432, 259-7433  
E-mail: pf-academia@bk.ru

#### Уральский

620142, Екатеринбург, ул. Чапаева, д. 1а, оф. 12а  
Тел.: (343) 257-1006  
Факс: (343) 257-3473  
E-mail: academia-ural@mail.ru

#### Сибирский

630007, Новосибирск, ул. Кривошёрковская, д. 15, корп. 3  
Тел./факс: (383) 362-2145, 362-2146  
E-mail: academia\_sibir@mail.ru

#### Дальневосточный

680038, Хабаровск, ул. Серышева, д. 22, оф. 519, 520, 523  
Тел./факс: (4212) 56-8810  
E-mail: filialdv-academia@yandex.ru

#### Южный

344082, Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, д. 10/65  
Тел.: (863) 203-5512  
Факс: (863) 269-5365  
E-mail: academia-UG@mail.ru

### Представительства:

#### в Республике Татарстан

420034, Казань, ул. Горсоветская, д. 17/1, офис 36  
Тел./факс: (843) 562-1045  
E-mail: academia-kazan@mail.ru

#### в Республике Казахстан

Алматы, пр-т Абая, д. 26А, оф. 209  
Тел.: (727) 250-0316, моб.тел.: (701) 014-3775  
E-mail: academia\_kazakhstan@mail.ru

#### в Республике Дагестан

Тел.: 8-928-982-9248

---

**www.academia-moscow.ru**

---