

## Практическое занятие

### ВЫБОР РЕЖИМОВ СТЫКОВОЙ И РОЛИКОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

## Цель работы

Изучить технологию контактной сварки и области её применения, научиться рассчитывать параметры режима сварки.

## Задание

1. Привести схемы процессов контактной сварки с кратким их описанием.

2. В соответствии с вариантом задания (табл. 4.6) рассчитать параметры режима стыковой сварки сопротивлением для прутков от 3 до 20 мм из углеродистой стали и непрерывной роликовой сварки заготовок из низколегированной листовой стали толщиной от 0,2 до 3мм.

### 4.1. Основные положения

Контактная сварка относится к способам сварки давлением, при которой заготовки в месте соединения нагреваются теплом, выделяющимся при прохождении электрического тока, и сжимаются определённым усилием. Для получения качественных сварных деталей металл в месте контакта нагревают до расплавления и лишь в отдельных случаях (например, при стыковой сварке сопротивлением) до пластического состояния, обеспечивающего требуемую пластическую деформацию заготовок. В процессе этой деформации происходит удаление окислов из места соединения, устранение раковин и уплотнение металла.

При пропускании электрического тока через свариваемые заготовки максимальное количество теплоты выделяется в месте свариваемого контакта и определяется по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = 0,24 \cdot J^2 \cdot R \cdot T,$$

где  $Q$  – количество теплоты, выделяемое в сварочном контуре, Дж;  
 $J$  – сила сварочного тока, А;  $R$  – полное сопротивление, Ом;  $T$  – время протекания тока, с.

Полное сопротивление сварочного контура  $R$  состоит из сопротивления выступающих концов свариваемых заготовок  $R_3$ , сопротивления сварочного контакта  $R_k$  и сопротивления между электродами и заготовками  $R_э$ :

$$R = R_3 + R_k + R_э.$$

Сопротивление сварочного контакта  $R_k$  является наибольшим, так как поверхности стыка заготовок даже после тщательной обработки

имеет неровности и соприкасаются только в отдельных точках. Благодаря этому происходит резкое уменьшение действительного сечения металла, через которое проходит ток, и в зоне контакта возникают большие плотности тока. Кроме того, на поверхности свариваемого металла имеются плёнки окислов и загрязнения с малой электропроводностью, которые также увеличивают электросопротивление.

В результате высокой плотности тока в точках контакта металл нагревается до термопластичного состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых заготовок образуются новые точки соприкосновения, и так до тех пор, пока не произойдет полное сближение до межатомных расстояний, т. е. сварка поверхностей.

Однако, при сварке неочищенных поверхностей контактные сопротивления изменяются в широких пределах, что приводит к изменению температур нагрева заготовок, снижению стабильности прочностных показателей сварных соединений, увеличению износа электродов и возникновению дефектов.

Режим нагрева при контактной сварке определяется силой тока и временем протекания его через свариваемые изделия. Обычно стремятся к получению интенсивного нагрева в возможно малый промежуток времени. Такой режим сварки называется жёстким и обеспечивает повышение производительности, экономию электроэнергии, уменьшение окисления деталей, уменьшение величины зоны термического влияния и возможность сварки металлов с высокой теплопроводностью и специальных легированных сталей.

Однако, если есть опасность возникновения закалочных структур, которые могут привести к образованию трещин в зоне сварного соединения, применяют мягкие режимы сварки, характерные увеличением длительности протекания тока при соответственном уменьшении его величины.

Процесс контактной сварки характеризуется не только явлением нагрева, но и пластической деформацией при сжатии деталей. Слои нагретого металла, подвергаемые сжатию, претерпевают структурные изменения, выражающиеся в переориентировке кристаллов сварного соединения, что оказывает большое влияние на качество соединения. Величина оптимального давления находится в зависимости от температуры нагрева. С увеличением температуры необходимое усилие сжатия уменьшается.

Контактная сварка находит широкое применение в промышленности, что обусловлено следующими её преимуществами: высокой производительностью; возможностью механизации процесса; возможностью соединения различных металлов и сплавов, а также разнородных металлов; минимальной деформацией свариваемых изделий.

## 4.2. Основные виды контактной сварки и их применение

Наиболее широкое применение получили следующие основные виды контактной сварки: стыковая (рис. 4.1), точечная (рис. 4.2) и (шовная) роликовая (рис. 4.3). Каждый из этих видов сварки может осуществляться различными способами, отличающимися по техническим признакам, роду используемой электроэнергии и способу подвода тока к свариваемым заготовкам.

*Стыковая сварка.* Заготовки сваривают по всей плоскости их касания. Для осуществления стыковой контактной сварки применяют специальные машины ручного или автоматического действия (рис. 4.1). На станине 1 машины расположены плиты 2 и 3, несущие на себе зажимы 4 и 5, предназначенные для закрепления свариваемых деталей и подвода к ним тока от вторичного витка трансформатора 6. Левая плита 2, обычно неподвижная, изолирована от станины. Правая плита 3 может перемещаться прямолинейно по направляющим станины вручную с помощью рычага, штурвала или пружин.

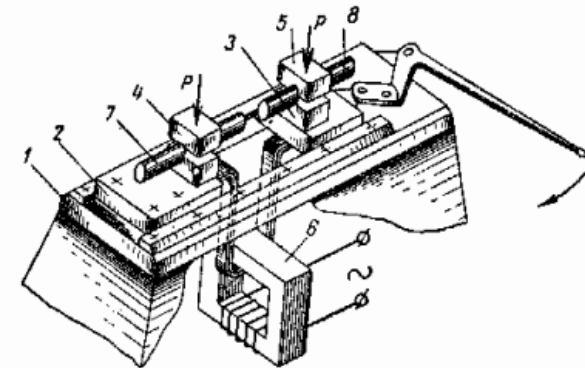


Рис. 4.1. Схема машины для стыковой контактной сварки

В зависимости от марки металла, площади сечения заготовки и требований к качеству соединения стыковую сварку можно выполнять несколькими способами: сопротивлением, непрерывным оплавлением и оплавлением с подогревом (табл. 4.4).

При стыковой сварке сопротивлением заготовки, установленные и закреплённые в стыковой машине, прижимают одну к другой усилием определенной величины, после чего по ним пропускают электрический ток. При нагревании металла в зоне сварки до пластичного состояния производится осадка. Ток выключают до окончания осадки. Этот способ сварки требует механической обработки и тщательной за-

чистки поверхностей торцов заготовки. Неравномерность нагрева и окисление металла на торцах понижают качество сварки сопротивлением, что ограничивает область её применения. С увеличением сечения заготовок качество сварки снижается особенно заметно, главным образом из-за образования окислов в стыке.

Этим способом соединяют заготовки малого сечения (до 100 мм<sup>2</sup>), одинаковыми по форме с малоразвитым периметром (круг, квадрат, прямоугольник с малым отношением сторон). Металл соединяемых заготовок должен быть однородным. Сварка сопротивлением даёт хорошие результаты для металлов, обладающих хорошей свариваемостью в пластичном состоянии – низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей, алюминиевых и медных сплавов.

Стыковая сварка непрерывным оплавлением состоит из двух стадий: оплавления и осадки. Заготовки устанавливают в зажимах машины, затем включают ток и медленно сближают их. При этом торцы заготовок касаются в одной или нескольких точках. В местах касания образуются перемычки, которые мгновенно испаряются и взрываются. Взрывы сопровождаются характерным выбросом из стыка мелких капель расплавленного металла. При дальнейшем сближении заготовок образование и взрыв перемычек происходят на других участках торцов. В результате заготовки прогреваются на небольшую глубину, а на торцах возникает тонкий слой расплавленного металла, облегчающий удаление окислов из стыка. В процессе оплавления заготовки укорачиваются на заданный припуск. Оплавление должно быть устойчивым (непрерывное протекание тока при отсутствии короткого замыкания заготовок), особенно перед осадкой.

При осадке скорость сближения заготовок резко увеличивают, осуществляя при этом пластическую деформацию на заданный припуск. Переход от оплавления к осадке должен быть мгновенным, без малейшего перерыва. Осадку начинают при включенном токе и завершают при выключенном.

Стыковая сварка оплавлением с подогревом отличается от сварки непрерывным оплавлением тем, что перед началом процесса оплавления заготовки подогревают в зажимах машины периодическим смыканием и размыканием при постоянно включенном токе. При этом происходит процесс прерывистого оплавления и заготовки укорачиваются на заданный припуск. Выдержка при замыкании составляет около 0,5...3 с, а при размыкании – 2...6 с. Количество замыканий может быть от одного до нескольких десятков в зависимости от размеров сечения заготовок.

Применение стыковой сварки оплавлением с подогревом позволяет предупредить резкую закалку и, следовательно, получить более

пластичные стыки при сварке закаливаемых сталей; снизить требуемую мощность машины или на машине данной мощности сварить заготовки с большими площадями сечения; осуществить осадку при меньшем усилии; сократить общий припуск на сварку.

Стыковую контактную сварку в судостроении используют при изготовлении якорных цепей, змеевиков холодильников рефрижераторных судов, штуцерно-торцевых соединений трубопроводов, стыковых соединений профильной стали, режущего инструмента и других изделий.

*Точечная сварка.* Заготовки соединяют сваркой в отдельных местах, условно называемыми точками (рис. 4.2). Размеры и структура точки, определяющие прочность соединения, зависят от формы и размеров контактной поверхности электродов, силы сварочного тока, времени его протекания через заготовки, усилия сжатия и состояния поверхностей заготовок. Качественная сварная точка характеризуется наличием общего для обеих заготовок литого ядра определенных размеров.

Для осуществления точечной сварки, схема которой представлена на рис. 4.2, а, свариваемые детали 1 зажимаются между электродами 2 и 3, к которым через электрододержатели 4, 5 и хоботы 6 и 7 подведен ток от вторичного витка трансформатора 8. Нижний хобот 6 делается неподвижным, а верхний 7 перемещается механизмом сжатия Р, который создаёт давление при сварке. После сжатия заготовок включают ток и заготовки быстро нагреваются; особенно быстро нагреваются участки металла, прилегающие к контакту между заготовками, так как они имеют повышенное электросопротивление. Кроме того, они менее подвержены охлаждающему действию электродов. В момент образования в зоне сварки расплавленного ядра заданных размеров ток выключают. Затем заготовки кратковременно выдерживают между электродами под действием усилия сжатия, в результате чего происходит охлаждение зоны сварки, кристаллизация расплавленного металла и уменьшение усадочной раковины в ядре сварной точки. Перед сваркой место соединения очищают от окисных плёнок (наждачным кругом или травлением).

На практике иногда применяются односторонняя одноточечная и двухточечная сварки (рис. 4.2, б), либо двухточечная контактная сварка с двухсторонним подводом тока (рис. 4.2, в), дающая более надёжные соединения.

Точечной сваркой можно сваривать листовые заготовки одинаковой или разной толщины, пересекающиеся стержни, листовые заготовки со стержнями или профильными заготовками (уголками, швеллерами, таврами и т. д.). Её применяют для соединения заготовок из сталей различных марок (углеродистой, легированной, нержавеющей, жаро-

стойкой и др.), цветных металлов и их сплавов, а так же разнородных металлов. Толщина каждой из заготовок может быть от сотых долей миллиметра до 35 мм.

С помощью точечной сварки в судостроении изготавливают судовую мебель, каютные двери, кабельные кассеты, ящики под приборы и запасные части, крепят набор к переборкам, выгородкам, настилам и к стенкам надстроек.

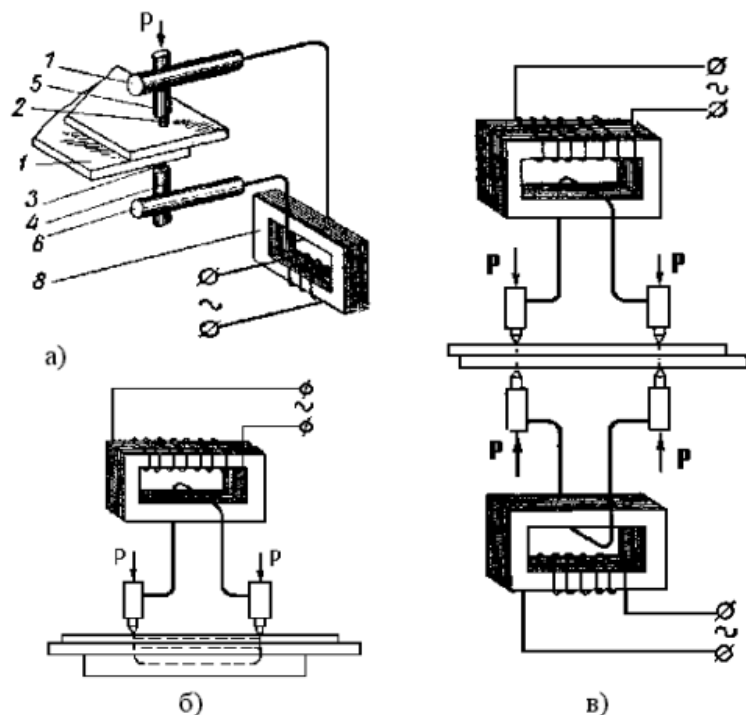


Рис. 4.2. Схемы точечной контактной сварки:  
а – двухсторонняя односточечная; б – односторонняя двусточечная;  
в – двухсторонняя двусточечная

**Роликовая (шовная) сварка** (рис. 4.3). Заготовки соединяют непрерывным прочно-плотным сварным швом, состоящим из ряда точек, в котором каждая последующая точка частично перекрывает предыдущую. В отличие от точечной сварки заготовки устанавливают между вращающимися роликами (или между роликами и оправой), на которые действует усилие механизма давления  $P$  и подведен электрический ток. Толщина свариваемых листов составляет 0,2...3 мм. Характеристика и области применения способов роликовой сварки приведе-

ны в табл. 4.5. Этим методом сваривают низкоуглеродистые, легированные конструкционные стали, легкие сплавы, некоторые медные и титановые сплавы, а также стальные листы с покрытием (оцинкованные, луженые, освинцованные).

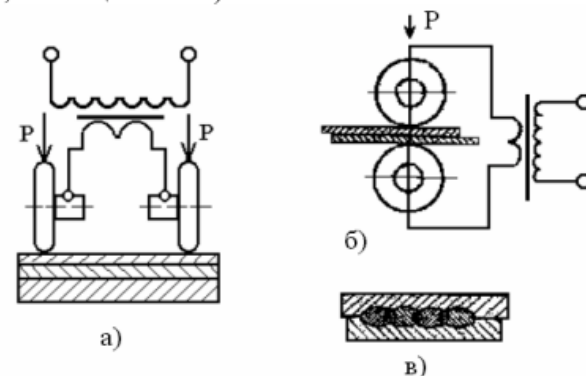


Рис. 4.3. Схема роликовой контактной сварки:  
а – односторонняя; б – двухсторонняя; в – разрез сварного шва

В судостроении с помощью роликовой сварки изготавливают емкости, трубы вентиляции, сильфонные компенсаторы, стыки легких переборок и выгородок.

### 4.3. Технология контактной сварки

#### 4.3.1. Стыковая сварка сопротивлением

Основные параметры стыковой сварки сопротивлением: сила сварочного тока  $I$ , усилие осадки  $P_{OC}$ , установочная длина  $L_H$ , припуск на осадку  $C_{OC}$ , время нагрева  $t_{CB}$  – время нагрева (табл. 4.2).

Сила сварочного тока  $I$  (А) подсчитывается по формуле

$$I = F \cdot j$$

где  $F$  – площадь сечения свариваемого прутка, мм<sup>2</sup>;  $j$  – плотность тока, А/мм<sup>2</sup>, (определяется по табл. 4.1 в зависимости от площади сечения прутка).

Величину усилия осадки  $P_{OC}$  (кгс) подсчитывают как произведение удельного давления осадки  $p$  (кгс/мм<sup>2</sup>) на площадь сечения свариваемого прутка  $F$  (мм<sup>2</sup>):

$$P_{OC} = p \cdot F$$

При сварке малоуглеродистой стали удельное давление принимается равным 2...5 кгс/мм<sup>2</sup>.

Таблица 4.1

Ориентировочные величины плотности тока и времени нагрева прутка при стыковой сварке сопротивлением

Площадь сечения прутка, мм <sup>2</sup>	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	Время нагрева, с
6	300	0,2...0,3
25	200	0,6...0,8
50	160	0,8...1,0
100	140	1,0...1,5
150	120	1,2...2,0
200	100	1,4...2,5
250	80	1,6...3,0
300	60	1,8...3,5
350	40	2,0...4,0
400	20	2,2...4,5

Установочная длина  $L_H$  (мм) – расстояние от торца заготовки до внутреннего края электрода стыковой машины, измеренное до начала сварки. Длина  $L_H$  зависит от теплофизических свойств металла, конфигурации стыка и размеров заготовки. При недостаточной установочной длине детали прогреваются недостаточно, так как тепло интенсивно отводится в губки. Завышение ее сопровождается перегревом деталей и увеличением длины деформируемого участка. Кроме того, возможны перекосы или несоосность торцов вследствие потери устойчивости. Для углеродистых сталей установочная длина равняется

$$L_H = (0,5...0,7) \cdot d,$$

где  $d$  – диаметр свариваемого прутка, мм.

Припуск на осадку  $C_{OC}$  (мм) распределяется на осадку под током и осадку без тока. Если осадка недостаточна, в стыке остаются окислы и раковины, наблюдаются непроваренные участки. При завышении величины осадки качество стыков также понижается вследствие искривления волокон и перегрева металла.

Для прутков припуск на осадку определяется:

$$C_{oc} = 0,7 \cdot \sqrt[3]{d} + 0,07 \cdot d$$

Время нагрева  $t_{CB}$  (с) – время прохождения тока через заготовки зависит от плотности тока и площади сечения свариваемого прутка (табл. 4.1.). Завышенное время нагрева является одной из причин возникновения окислов в стыке и образования малопластичной перегретой структуры металла.

Таблица 4.2

Расчет параметров стыковой сварки сопротивлением

№ п/п	Наименование параметра	Расчетная формула	Численное значение
1	Диаметр свариваемого прутка $d$ , мм	Табл. 4.6	
2	Площадь сечения прутка $F$ , мм <sup>2</sup>		
3	Плотность тока $j$ , А/мм <sup>2</sup>	Табл. 4.1	
4	Сила сварочного тока $I$ , А		
5	Удельное давление осадки $p$ , кгс/мм <sup>2</sup>		
6	Усилие осадки $P_{oc}$ , кгс		
7	Установочная длина $L_H$ , мм		
8	Припуск на осадку $C_{OC}$ , мм		
9	Время нагрева $t_{CB}$ , с	Табл. 4.1	

#### 4.3.2. Роликовая сварка

Типы соединений для роликовой сварки выбирают с учетом толщины и материала заготовки, а также условий работы изделия.

При изготовлении сосудов предпочтительнее соединение с отбортовкой. При таком соединении деталь во время сварки не вводится в сварочный контур машины, следовательно, сохраняется постоянной величина силы сварочного тока.

Введение в сварочный контур машины магнитных материалов, например, заготовок из низкоуглеродистых сталей, вызывает рост индуктивного сопротивления, в результате чего уменьшается сила сварочного тока. Ширина отбортовки для стальных заготовок толщиной 1...2 мм находится в пределах 12...18 мм.

Широко применяют соединение внахлестку, которое при роликовой сварке обеспечивает высокую прочность и плотность швов. Величину нахлестки берут в пределах 10...18 мм.

Рекомендуемые параметры режима непрерывной роликовой сварки следующие (табл. 4.3):

1. Диаметр отдельных точек  $d_m$  (мм), зависящий от толщины свариваемых деталей:

$$d_m = 2 \cdot S + 2,$$

где  $S$  – толщина более тонкой из свариваемых деталей, мм.

2. Площадь контакта  $F$ , мм<sup>2</sup>:

$$F = \pi \cdot d_m^2 / 4.$$

3. Сила сварочного тока  $I$ , (А) зависит от плотности тока  $j$  (А/мм<sup>2</sup>) и площади контакта электрод – деталь и определяется по формуле

$$I = F \cdot j$$

4. Шаг точек (расстояние между центрами точек)  $a$ , мм определяется из уравнения

$$a = (0,5 \dots 0,7) \cdot d_m$$

Примечание: Уравнение приведено для плотных швов; в неплотных швах точки могут не перекрываться и для получения плотного шва расстояние между центрами сварных точек при больших скоростях сварки берётся не более 2...3 мм (шаг точек).

5. Скорость сварки  $V_{CB}$  (м/мин) определяется по формуле

$$V_{CB} = 2f \cdot 60 \cdot a / 1000,$$

где  $f = 50$  – частота тока, Гц;  $a$  – шаг точек, мм.

6. Усилие сжатия  $P_{CЖ}$  (кгс:

$$P_{CЖ} = p \cdot F,$$

где  $p$  – удельное, кгс/мм<sup>2</sup> (при сварке малоуглеродистой стали толщиной до 3 мм составляет 4...12 кгс/мм<sup>2</sup>). Большие значения соответствуют сварке деталей большей толщины и более жестким режимам.

7. Ширина рабочей контактной поверхности роликовых электродов  $Bэ$  (мм) зависит от толщины свариваемого металла  $S$  (мм) и определяется по формуле

$$Bэ = 5 \cdot \sqrt{S} + 2.$$

Желательный диаметр электродов 150...200 мм, так как при меньшем диаметре увеличивается их износ. При сварке металлов толщиной менее 0,5 мм применяют электроды диаметром 40...50 мм. Для изготовления электродов для точечной и роликовой сварки используется медь марки М1, кадмиевая, хромистая, бериллиевая бронзы и другие сплавы.

#### Расчет параметров роликовой сварки

№ п/п	Наименование параметра	Расчетная формула	Численное значение
1	Толщина свариваемого металла $S$ , мм	Табл.4.6	
2	Плотность тока $j$ , А/мм <sup>2</sup>	Табл.4.6	
3	Диаметр отдельных точек $d_m$ , мм		
4	Площадь контакта $F$ , мм <sup>2</sup>		
5	Сила сварочного тока $I$ , А		
6	Шаг точек $a$ , мм		
7	Скорость сварки $V_{CB}$ , м/мин		
8	Удельное давление осадки $p$ , кгс/мм <sup>2</sup>		
9	Ширина рабочей контактной поверхности роликового электрода $Bэ$ , мм		
10	Усилие сжатия $P_{CЖ}$ , кгс		

#### 4.4. Содержание отчета

1. Титульная часть.
2. Цель работы.
3. Схемы процессов контактной сварки с кратким их описанием.
4. Результаты расчетов параметров стыковой и роликовой контактной сварки (табл. 4.2 и 4.3).
5. Краткие выводы.

#### 4.5. Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем заключается сущность контактной сварки?
2. Как определяется полное сопротивление сварочного контура?
3. Почему сопротивление сварочного контакта является наибольшим?
4. Перечислите основные виды контактной сварки?
5. В чем заключается сущность стыковой контактной сварки?
6. Какими способами осуществляется стыковая контактная сварка?
7. Чем отличается стыковая сварка оплавлением с подогревом от сварки непрерывным оплавлением?
8. Где используется стыковая контактная сварка?
9. В чем заключается сущность точечной контактной сварки?
10. Какие детали свариваются точечной сваркой?
11. Сущность роликовой (шовной) контактной сварки.
12. Какие детали и материалы соединяются роликовой сваркой?
13. Перечислите основные параметры стыковой контактной сварки.
14. От чего зависит сила сварочного тока при контактной сварке?
15. Какие факторы влияют на скорость роликовой сварки?



Таблица 4.4

## Области применения различных способов стыковой сварки

Свариваемые заготовки			Способ стыковой сварки
Металл	Форма сечения	Размеры сечения	
Сталь, ни-хром, медь, алюминий, сплавы меди и алюминия	Компактное (круглое, квадратное)	Проволока диаметром до 6...8 мм, звенья цепей диаметром до 20 мм, трубы диаметром до 40 мм при специальной подготовке кромок	Сопротивлением
Сталь, медь, алюминий и их сплавы; заготовки из разнородных материалов	Стержни, трубы, листы, уголки и другой профильный прокат; поковки, штамповки	Стальные стержни и толстостенные трубы до 3000 мм <sup>2</sup> , стальные листы и тонкостенные трубы до 6000 мм <sup>2</sup> и выше, рельсы	Непрерывным оплавлением
Сталь	Рельсы, трубы, прокат	Большое поперечное сечение (40000 – 60000 мм <sup>2</sup> и выше)	Непрерывным оплавлением
Сталь незакаливающаяся	Прутки, трубы	В мелкосерийном производстве более 300 мм <sup>2</sup> , в массовом более 1000 мм <sup>2</sup>	Оплавлением с подогревом
Сталь закаливающаяся	Прутки, трубы, прокат	От 20 мм <sup>2</sup> и выше	Оплавлением с подогревом

Таблица 4.5

## Способы роликовой (шовной) сварки и их применение

Способ и его сущность	Толщина листа, мм не более	Характеристика и применение
Непрерывная – непрерывное включение тока при непрерывном вращении роликов	1,0	Сварка неотчетственных изделий из малоуглеродистых сталей. Перегрев роликов и заготовок, невысокое качество сварки, относительно низкая стойкость электродов
Прерывистая – прерывистое включение тока при непрерывном вращении роликов	3,0	Сварка различных сталей. Прерывистое включение тока снижает перегрев роликов и заготовок, повышает качество сварки и стойкости роликов, наиболее распространенный способ
Шаговая – включение тока при неподвижных роликах, вращение роликов при выключенном токе	3,0	Сварка алюминиевых сплавов и плакированных металлов, осуществляемая при больших силах тока. Наименьший перегрев роликов и заготовок

Таблица 4.6

## Исходные данные для выполнения работы по контактной сварке

№ варианта	Стыковая сварка	Непрерывная роликовая сварка	
	Диаметр свариваемого прутка d, мм	Толщина свариваемого металла S, мм	Плотность тока j, A / мм <sup>2</sup>
1	3,0	0,2	400
2	3,5	0,3	390
3	4,0	0,4	380
4	4,5	0,5	370
5	5,0	0,6	360
6	5,5	0,7	350
7	6,0	0,8	340
8	6,5	0,9	330
9	7,0	1,0	320
10	7,5	1,1	310
11	8,0	1,2	300
12	8,5	1,3	290
13	9,0	1,4	280
14	9,5	1,5	270
15	10,0	1,6	260
16	10,5	1,7	250
17	11,0	1,8	240
18	11,5	1,9	230
19	12,0	2,0	220
20	12,5	2,1	210
21	13,0	2,2	205
22	13,5	2,3	200
23	14,0	2,4	195
24	14,5	2,5	190
25	15,0	2,6	185
26	16,0	2,7	180
27	17,0	2,8	170
28	18,0	2,9	165
29	19,0	3,0	160
30	20,0	3,1	150