

## Уважаемые студенты!

### Задание:

1. Прочтите приведенный ниже конспект лекции.
2. Напишите конспект лекции в тетрадь объемом не менее 8 страниц рукописного текста.
3. Ответьте письменно на контрольные вопросы.
4. Письменный отчет конспекта лекции и ответов на вопросы в виде фото предоставьте преподавателю на e-mail ([tamara\\_grechko@mail.ru](mailto:tamara_grechko@mail.ru)).

**Обратите внимание!!!** В случае возникновения вопросов по теоретическому материалу лекции обращайтесь для консультации к преподавателю по тел. 0721355729 (Ватсап).

С уважением, Гречко Тамара Ивановна!

## ЛЕКЦИЯ

Тема: **Радиочастотная сварка**

### *План*

1. Особенности радиочастотной сварки
2. Режимы сварки
3. Качество сварного шва
4. Оборудование для высокочастотной сварки

### **1. Особенности радиочастотной сварки**

Радиочастотная сварка относится к способам сварки давлением с оплавлением свариваемых кромок при кратковременном их нагреве на воздухе.

Особенность этого процесса заключается в прохождении сварочным током свариваемых кромок и через точку схождения этих кромок до токопроводящих контактов.

Радиочастотная сварка происходит в результате местного нагрева соединяемых заготовок т. в. ч. до температуры оплавления тонкого слоя металла на поверхности кромок или близкой к этой температуре и последовательного сжатия кромок вращающимися роликами. Для концентрации нагрева используют так называемый эффект близости.

Сущность эффекта близости заключается в неравномерном распределении плотности прямого и обратного токов, протекающих по двум близко расположенным проводникам и по периметру этих проводников.

Плотность тока в близлежащих поверхностных точках проводников максимальна, а в наиболее удаленных — минимальна. Чем меньше расстояние между осями проводников и чем больше радиус сечения проводника, тем сильнее проявляется эффект близости.

Сварочный ток может быть подведен непосредственно от высокочастотного генератора (машинного или лампового), в цепь которого включено изделие, через скользящие или вращающиеся контакты, а также индукционным путем. Этим способом сваривают продольные или спиральные швы труб.

При сварке трубы большое значение имеет отношение толщины стенки к ее диаметру. Оно обычно составляет 1:10...1:50. Более тонкие стенки могут терять устойчивость при осадке. При увеличении толщины труднее придать необходимую геометрию заготовке, так как увеличивается ток шунта.

Процесс идет без разбрызгивания металла. Получаемый грат имеет более выгодную овальную форму в отличие от сварки сопротивлением, при которой грат прерывистый, с наличием небольших кратеров — очагов будущей коррозии. Высота графа меньше и имеет тенденцию к снижению с ростом скорости сварки.

Метод позволяет выдерживать размеры изделий с высокой точностью. При переходе на радиочастотную сварку уменьшается масса оборудования (35%), сокращаются необходимые производственные площади (20%), снижаются эксплуатационные затраты, скорость сварки увеличивается на 12...50 % и более. Бесконтактный подвод энергии улучшает задачу автоматизации. Этому же способствует возможность автоматического регулирования процесса по одному или нескольким параметрам. Сокращается расход электродного металла. Источник питания может находиться на расстоянии 15...20 м от сварочного устройства.

Благодаря возможности регулировать в широких пределах размеры зоны нагрева и локализовать тепловыделение в ограниченном объеме этот способ нагрева позволяет успешно применять его при пайке, наплавке, резке.

Однако следует иметь в виду, что, как правило, при непрерывно-последовательной высокочастотной сварке начало и конец шва оказываются бракованными (непровар) на значительной длине. Процесс требует проведения мероприятий по подавлению радиопомех. Для индуктора необходима экранировка в случае, если напряженность электрического поля превышает 5 В/м (допускается кратковременное воздействие 10 В/м).

Номенклатура изделий сильно ограничена спецификой организации процесса нагрева,

Технология сварки включает в себя те же операции, что и контактная

стыковая сварка. Однако при непрерывной высокочастотной сварке добавляется операция обрезки ленты-заготовки по ширине, стыковка очередной бухты, зачистка поперечного шва, формовка заготовки, удаление грата, резка изделия на мерные куски складского размера.

## 2. Режимы сварки

Равнопрочное соединение можно получить в достаточно широком интервале параметров. При радиочастотной сварке они находятся в диапазонах: ток сварки  $I = 100...2000$  А; мощность  $W = 25...280$  кВт;  $V_{св} = 10...120$  м/мин – для стали;  $V_{св} = 8...80$  м/мин – для цветных металлов;  $f = 440$  кГц.

В целях обеспечения требуемого сварочного давления, особенно при сварке труб, необходимо выдерживать допуски на ширину и толщину заготовки соответственно:  $0,2...0,3$  и  $0,07...0,12$  мм.

Радиочастотная сварка может вестись в **трех режимах**:

1. Температура кромок при сварке стали  $1300...1400^{\circ}\text{C}$ . В точке касания материал дополнительно нагревается, но не плавится. При осадке пластическая деформация обеспечивает удаление загрязнения. Удельное давление – порядка 50 МПа. Грат имеет высоту  $0,3...0,8$  мм и овальный профиль сечения.

2. Кромки при подходе к точке схождения нагреваются до температур, близких к температуре плавления, и в зоне контакта расплавляются. При осадке жидкий металл удаляется вместе с окислами. Жидкостная прослойка выполняет защитную роль. Сварочное давление –  $20...30$  МПа.

3. Кромки оплавляются, и в месте контакта сильно перегревается расплав, который под действием электромагнитных сил выбрасывается вместе с окислами из зоны шва. Оставшийся на кромках жидкий металл выдавливается аналогично предыдущему варианту. Давление –  $20...30$  МПа.

Низкоуглеродистые стали целесообразно сваривать по 1 и 2-му режимам. Нержавеющие стали, алюминий, медь и латунь – по 3-му), так как на их поверхности есть трудноудаляемые тугоплавкие окислы.

С ростом частоты уменьшаются затраты энергии на единицу толщины заготовки, сокращается зона нагрева, повышается скорость сварки. Однако выходить за границы отведенного для технологических целей диапазона частот не разрешается. Стандартные значения этих частот: 8, 10, 70, 440 кГц и 1,76 МГц. *Выбор частоты является центральным моментом определения режима.*

С учетом всего комплекта требований и условий в настоящее время чаще всего используют частоту 440 кГц при работе с заготовками толщиной  $0,8...14$  мм.

При *сварке трубы* критерием выбора частоты является также ее диаметр и толщина стенки, что связано с глубиной проникновения тока.

Выбор частоты при индукционной сварке труб необходимо связывать с гарантированным прогревом кромок на всю толщину.

Существует *критическая скорость*, ниже которой процесс становится неустойчивым. Скорость сварки при индукционном подводе тока меньше, чем при контактном.

Скорость сварки заготовок, нержавеющей стали, алюминия, меди на 5...20 % ниже, чем малоуглеродистой стали.

При сварке заготовок большой толщины их концы скашиваются под углом 42...70°, а сварочные усилия прикладываются нормально к их поверхностям. Угол схождения кромок – порядка 5...6°. Расстояние от места подвода тока до вершины угла 120...200 мм.

При сварке встык сплошных компактных сечений ограничивается предельный диаметр заготовки или ее толщина (около 30 мм). С увеличением сечения проходится снижать и частоту колебаний. При толщине менее 15 мм частота  $f = 70$  кГц, при толщине 15...30 мм частота  $f = 8$  кГц.

При диаметре *выше 30 мм* время нагрева столь сильно увеличивается, что применение ТВЧ становится *нерациональным*.

### 3. Качество сварного шва

Шов имеет высокую механическую прочность и стабильность качества.

При переходе от контактной сварки к радиочастотной количество разрушений по шву в ходе контрольных испытаний уменьшалось в 10...15 раз.

Термообработкой добиваются равной прочности материала и соединения, а также улучшения пластических и технологических свойств (угол загиба 150...180°).

При высокочастотной сварке дефекты шва появляются вследствие:

- неточности изготовления формовочного и осадочного устройств (биение валков, смещение шва относительно оси клетки, излом профиля трубы в месте шва, депланация кромок и т. п.);
- нарушения работы генератора или неправильного выбора параметров сварки (строчечность, негерметичность, непровары, окисные включения, перегрев металла и т. д.)
- смещения индуктора, смещения ферритового сердечника или его перегрева;
- непостоянства размеров заготовки (по толщине и ширине ленты при изготовлении труб).

О нормальном ходе процесса свидетельствует следующий вид срезаемого грата:

- 1) стружка с резца сходит без раздвоения;
- 2) качество шва оценивается экспериментально или ультразвуковым методом;
- 3) при сдаточном контроле труб применяют опрессовку.

#### **4.Оборудование для высокочастотной сварки**

Оборудование для высокочастотной сварки в общем случае включает:

- 1) индуктор или скользящий контакт,
- 2) ферритовый стержень или магнитопровод
- 3) генератор высокочастотных электрических колебаний;
- 4) токосъемники и согласующее устройство;
- 5) механизмы фиксации заготовки и осадки;
- 6) аппаратуру управления.

В специализированных установках могут быть дополнительные устройства и механизмы различного назначения. (трубосварочный стан).

Основная часть индуктора – индуктирующий провод. Выполняется из медных трубок прямоугольного сечения 10х6х1 и 17х10х1,5 мм. Внутренний размер охватывающего индуктора такой, чтобы зазор с заготовкой был 2,5...9мм. Индукторы, как правило, имеют один виток, реже – несколько витков. Расстояние между витками берется минимальным, при котором еще нет опасности пробоя (2...4 мм). В стыковой сварке могут использоваться разъемные индукторы. Для повышения КПД индуктирующий провод может быть окружен П-образным магнитопроводом, набранным из тонких пластин электротехнической стали или из феррита. При сварке труб внутрь заготовок вводится стержень, который набирается из ферритовых колец на медной трубке.

Минимально возможный диаметр стержня определяет и наименьший размер свариваемой трубы. Выбор длины стержня зависит от диаметра и толщины стенки трубы. Зазор между стержнями и заготовкой 1-7 мм.

В случае контактного подвода энергии (при сварке спиральных труб, тавров, при приварке продольных и спиральных ребер к трубам) рабочая трущаяся часть выполняется из износостойкого материала (вольфрам, молибден и т. п.). Размер рабочей площади  $S = 2...4 \times 6...15$  мм при высоте  $h = 4$  мм. При большей высоте повышается износ вследствие плохого охлаждения. Поджатие токосъемника к заготовкам осуществляется пружинами. Ресурс их работы составляет 25...40 км шва. Токосъемники и индукторы имеют водяное охлаждение и изолированы от механической части установки. Плотность тока в индукторе  $j = 500$  А/см<sup>2</sup>. Внутреннее и наружное охлаждение ферритового стержня – обязательно.

В качестве источников питания используются машинные и ламповые

генераторы. Машинные генераторы имеют асинхронный двигатель, насаженный на один вал с генератором (с короткозамкнутым ротором). Характеристики этих генераторов таковы: мощность  $W = 100...500\text{кВт}$ , частота  $f = 8...10\text{ кГц}$ ,  $\cos\varphi = 0,9...0,95$ ,  $\eta = 74...82\%$ . Генераторы просты в обслуживании, дешёвы, их можно, в отличие от ламповых включать параллельно на общую нагрузку, облегчая тем самым наращивание мощности и аварийное резервирование. Регулирование нагрева производится изменением тока возбуждения. Машинные генераторы подключаются к индуктору без согласующего трансформатора. В схему нагревательного устройства входит конденсатор для компенсации реактивного сопротивления и внутренней индуктивности генератора. Ламповые генераторы (рисунок 1) имеют мощность  $W = 160...630\text{ кВт}$ ; частоту  $f = 440\text{ кГц}$ ; КПД,  $0,5...0,6$ ; продолжительность включения ПВ=100%. Режим генерации – автоколебательный. В генераторном блоке две или четыре генераторные лампы, включенные параллельно или последовательно. Выпрямитель – трёхфазный, управляемый. Колебание амплитуды выпрямительного напряжения не должно превышать 1-4% в зависимости от марки материалов. Высокочастотные трансформаторы необходимы для согласования параметров генератора и нагрузки (индуктор). Обычно напряжение на индукторе  $U=100...200\text{В}$ , а генераторы выполняются с  $U=375, 750\text{ и }1500\text{ В}$ .

Коэффициент мощности системы: индуктор – кромки трубной заготовки составляет  $0,15...0,3$ . Чтобы повысить  $\cos\varphi$ , в систему вводится конденсаторная батарея, подключенная параллельно к первичной обмотке высокочастотного трансформатора. Трансформатор и батарея конденсаторов составляют нагрузочный контур.

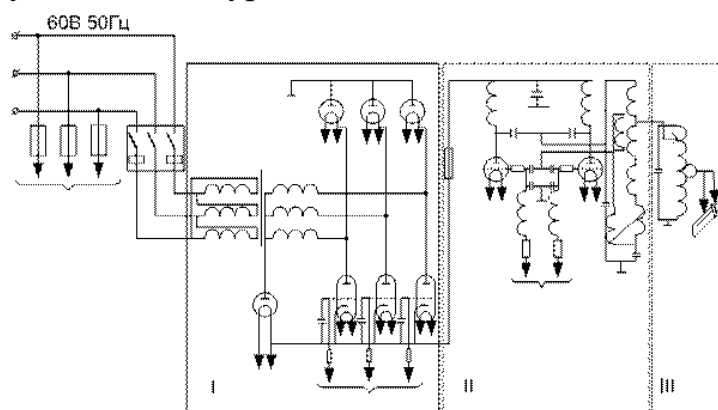


Рисунок 33.1 - Схема лампового генератора:

- I – блок управляемого стабилизированного выпрямителя;
- II – блок генераторных ламп и колебательных контуров;
- III – блок сварочного узла

Генераторные лампы, трансформатор, токосъемники имеют водяное охлаждение. При эксплуатации генераторов предъявляются повышенные

требования к обеспечению безопасности, так как анодное напряжение  $U$  составляет 8...9 кВ.

При стыковой сварке механизмы давления аналогичны применяемым в машинах для стыковой контактной сварки. При изготовлении труб используют систему двух валиков при диаметре заготовки менее 300 мм, а при больших диаметрах – обжимные клетки, имеющие несколько валиков.

Если напряжённость электрического поля вблизи индуктора превышает норму (5...10 В/м), то делается экранирование алюминиевыми листами.

В целях уменьшения потерь в массе несущих конструкций, на которых монтируется нагруженный контур, они выполняются из алюминиевых сплавов.

В настоящее время промышленное применение связано главным образом с трубным производством, где этот процесс во многих случаях заменяет контактную и дуговую сварку. Радиочастотной сваркой изготавливают прямошовные трубы (из сталей различных марок, алюминиевых сплавов, латуни и др.) малого и среднего диаметра (2...150 мм – при толщине стенки 0,8...6 мм), большого диаметра (400...600 мм – при толщине 4...8 мм). Планируется выпуск труб диаметром до 1020...1620 мм. Свариваются спиралешовные трубы: диаметром до 600 мм – при толщине стенки до 10 мм, диаметром 1020 мм – при толщине до 12 мм, диаметром 180...350 мм – при толщине 0,8...1,5 мм. Нахлестка составляет 2...3 мм, скорость сварки – больше 30 м/мин.

Благодаря высокой размерной точности труб из латуни (диаметр 20...76 мм), изготовленных с помощью высокочастотной сварки, их применяют в производстве волноводов, а именно: прямошовные трубы из алюминиевого сплава диаметром 220 мм и спиральные диаметром 180 мм – для оросительных систем; плоскоовальные трубы из алюминия и латуни с толщиной стенки 0,1...0,3 мм – для радиаторов автомобилей. Рассматриваемым методом изготавливают также квадратные и прямоугольные трубы различного назначения из полос шириной до 500 мм.

Токи высокой частоты нашли применение при сварке биметаллического провода (сталь плюс алюминий, сталь плюс медь, скорость сварки до 60 м/мин). Успешно свариваются алюминиевые оболочки кабеля (диаметр 20...40 мм, толщина 1...2 мм), при этом обеспечивается необходимая беспрерывность шва длиной 0,5...1 мм.

Высокую экономическую эффективность радиочастотная сварка дает при изготовлении тонкостенных профилей из стали, титановых и других сплавов, получение которых методами прокатки невозможно.

Кроме того, нагрев токами ВЧ находит самое широкое применение при пайке (изготовление инструмента, трубопроводные авиационные системы,

волноводы и т. д.), для наплавочных работ (клапаны ДВС, рабочие поверхности паровых задвижек АЭС, инструмент и т. д.).

***Контрольные вопросы:***

1. К какому способу сварки давлением относится радиочастотная сварка?
2. Какую величину и частоту имеет сварочный ток?
3. Какой процесс лежит в основе радиочастотной сварки?
4. В каких режимах может вестись радиочастотная сварка?
5. Какие устройства и механизмы входят в состав оборудования для радиочастотной сварки?
6. Что такое критическая скорость сварки?
7. Что является основными причинами возникновения дефектов сварных швов при радиочастотной сварке?