

Уважаемые студенты!

Задание:

1. Повторите теоретический материал по ранее изученной теме.
2. Ознакомьтесь с порядком проведения практической работы.
3. Выполните приведенные далее практическое задание.
4. Оформите письменный отчет по практической работе.
5. Письменный отчет по практической работе в виде фото предоставьте преподавателю на e-mail (tamara_grechko@mail.ru).

Примите к сведению, что данная работа выполняется на двух занятиях (07.03.2023 г. и 10.03.2023 г.).

Обратите внимание!!! В случае возникновения вопросов по выполнению практической работы обращайтесь для консультации к преподавателю по тел. 0721355729 (Ватсап).

ЛЕКЦИЯ

Тема: **Электрошлаковая сварка**

Цель: Изучить особенности процесса электрошлаковой сварки

План

1. Применение и схема процесса электрошлаковой сварки
2. Техника электрошлаковой сварки
3. Режимы электрошлаковой сварки

1. Применение и схема процесса электрошлаковой сварки

Электрошлаковая сварка – сварка плавлением, при которой для нагрева используется тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак.

Способ электрошлаковой сварки был разработан в 50-е годы 20 в. в Институте электросварки АН Украины. Впервые электрошлаковую сварку электродными проволоками осуществил в 1949г. Г.З. Волошкевич. Электрошлаковую сварку пластинчатыми электродами в промышленных

условиях впервые удалось осуществить Ю.А. Стеренбогену на Новокраматорском машиностроительном заводе в 1955г.

Этот способ широко используется для соединения металлов повышенной толщины: стали и чугуна различного состава, меди, алюминия, титана и их сплавов.

Преимущества способа:

1. Возможность сварки за один проход металла практически любой толщины, что не требует удаления шлака и соответствующей настройки сварочной установки перед сваркой последующего прохода, как при других способах сварки. При этом сварку выполняют без снятия фасок на кромках.

2. Для сварки можно использовать один или несколько проволочных электродов или электродов другого увеличенного сечения. В результате этого достигается высокая производительность и экономичность процесса, повышающиеся с ростом толщины свариваемого металла.

Недостатки способа:

1. Электрошлаковая сварка технически возможна при толщине металла более 16 мм и за редкими исключениями экономически выгодна при сварке металла толщиной более 40 мм.

2. Способ позволяет сваривать только вертикальные швы.

3. При сварке некоторых металлов требует последующей термообработки для получения необходимых свойств сварного соединения.

Сущность способа

Известно, что расплавленные флюсы образуют шлаки, которые являются проводниками электрического тока. При этом в объеме расплавленного шлака при протекании сварочного тока выделяется теплота. Этот принцип и лежит в основе электрошлаковой сварки (рисунок 1). Электрод 1 и основной металл 2 связаны электрически через расплавленный шлак 3 (шлаковая ванна). Выделяющаяся в шлаковой ванне теплота перегревает его выше температуры плавления основного и электродного металлов. В результате металл электрода и кромки основного металла оплавляются и ввиду большей плотности металла, чем шлака, стекают на дно расплава, образуя ванну расплавленного металла 4 (металлическую ванну).

Электродный металл в виде отдельных капель, проходя через жидкий шлак, взаимодействует с ним, изменяя при этом свой состав. Шлаковая ванна, находясь над поверхностью расплавленного металла, препятствует его взаимодействию с воздухом. При правильно подобранной скорости подачи электрода зазор между торцом электрода и поверхностью металлической ванны остается постоянным.

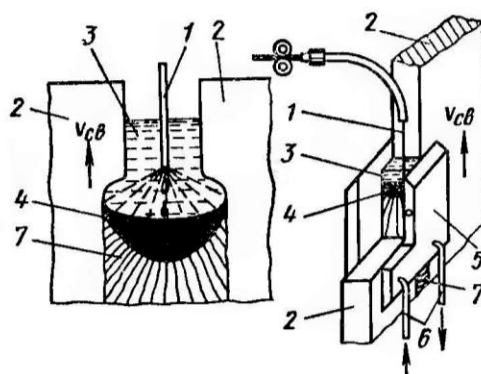


Рисунок 1 - Схема процесса электрошлаковой сварки

Свариваемый металл, шлаковая и металлическая ванны удерживаются от вытекания обычно специальными формирующими устройствами - подвижными или неподвижными медными ползунами 5, охлаждаемыми водой 6, или остающимися пластинами. Верхняя кромка ползуна располагается несколько выше зеркала шлаковой ванны.

Кристаллизующийся в нижней части металлической ванны расплавленный металл образует шов 7. Шлаковая ванна, находясь над поверхностью металлической ванны, соприкасаясь с охлаждаемыми ползунами, образует на них тонкую шлаковую корку, исключая тем самым непосредственный контакт расплавленного металла с поверхностью охлаждаемого ползуна и предупреждая образование в металле шва кристаллизационных трещин.

Расход флюса при этом способе сварки невелик и обычно не превышает 5% массы наплавленного металла. Ввиду малого количества шлака легирование наплавленного металла происходит в основном за счет электродной проволоки. Доля основного металла в шве может быть снижена до 10-20%. Вертикальное положение металлической ванны, повышенная температура ее верхней части и значительное время пребывания металла в расплавленном состоянии способствуют улучшению условий удаления газов и неметаллических включений из металла шва. По сравнению со сварочной дугой шлаковая ванна - менее концентрированный источник теплоты. Поэтому термический цикл электрошлаковой сварки характеризуется медленным нагревом и охлаждением основного металла. Отклонение положения оси свариваемого шва от вертикали возможно не более чем на 15° в плоскости листов и на $30-45^\circ$ от горизонтали.

Так как выделение теплоты в шлаковой ванне происходит главным образом в области электрода, максимальная толщина основного металла, свариваемого с использованием одной электродной проволоки, обычно ограничена 60 мм. При сварке металла большей толщины электроду в зазоре между кромками сообщают возвратно-поступательное движение (до 150 мм)

или используют несколько неподвижных или перемещающихся (рисунок 2.) электродов. В этом случае появляется возможность сварки металла сколь угодно большой толщины.

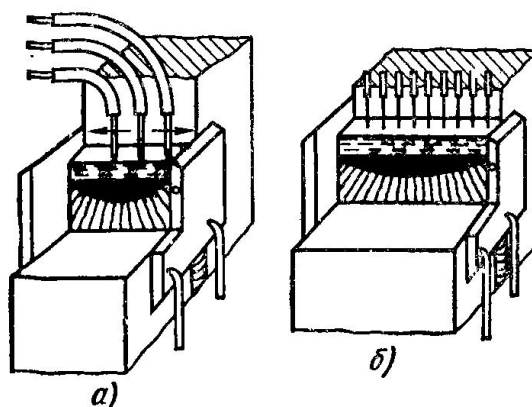


Рисунок 2 - Схемы процесса многоэлектродной электрошлаковой сварки:
а - тремя электродами, б - десятью неподвижными электродами.

2. Техника электрошлаковой сварки

Электрошлаковый процесс устойчиво протекает при плотностях тока около $0,1 \text{ А/мм}^2$ (при дуговой сварке порядка $20\text{-}30 \text{ А/мм}^2$). Поэтому возможна замена проволочных электродов на пластинчатые (рисунок 2.) или ленточные электроды. Однако, если невозможно использование механизма подачи пластинчатых электродов (недостаток места над изделием и др.) и при сварке изделий сложного сечения (пластинчатый электрод должен быть неподвижен) для компенсации недостатка металла для заполнения пространства между электродами и электродами и кромками основного металла используют способ сварки плавящимся мундштуком. В этом случае пластинчатый электрод по форме может повторять форму свариваемых кромок и быть составным (рисунок 3).

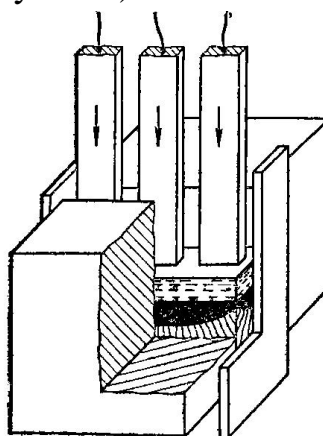


Рисунок 3 - Схема электрошлаковой сварки пластинчатым электродом

Токоподвод к электродной проволоке осуществляется через скользящий контакт с пластинчатым расплавляющимся электродом

(мундштуком). Один из приемов наплавки плоских поверхностей показан на рисунке 4, а. При контактно-шлаковой (рисунке 4, б) сварке стержней различного поперечного сечения после образования металлической ванны требуемого объема происходят выключение сварочного тока и осадка верхнего стержня. Этим способом можно приваривать стержни к плоской поверхности.

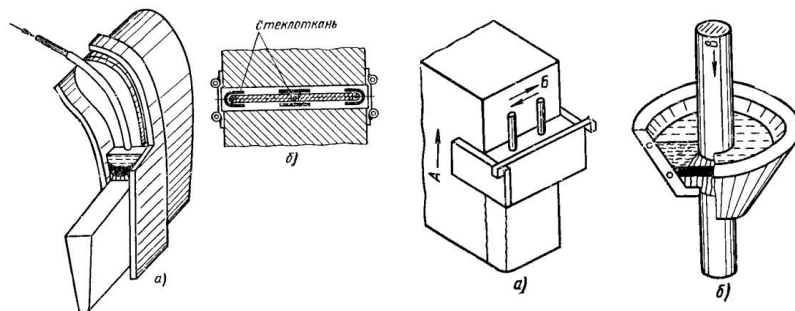


Рисунок 4. Схема электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком:

а - общий вид,

б - положение составного планштинчатого электрода

в зазоре свариваемого стыка

Рисунок 5. Схемы электрошлаковой наплавки (а) и контактной шлаковой сварки (б).

А - направление перемещения формулирующего ползуна,

Б - возвратно-поступательные движения электродов;

В - направление подачи стержня в шлаковую ванну

Устойчивость электрошлакового процесса, форма шва и глубина проплавления основного металла зависят от параметров режима сварки. К основным параметрам относятся: скорость сварки V , сварочный ток $I_{св}$, скорость подачи электродов V_n , напряжение сварки $U_{св}$, толщина металла, приходящаяся на один электрод, расстояние между электродами z . Вспомогательные составляющие режима: зазор между кромками b_p , состав флюса, глубина шлаковой ванны $h_{ш.в}$, скорость возвратно-поступательных движений электрода, его "сухой" вылет $l_э$, сечение электродов и др. Глубина шлаковой ванны в зависимости от силы сварочного тока изменяется от 25 до 70 мм. Скорость возвратно-поступательного движения электрода 25-40 м/ч. Сухой вылет электрода 60-80 мм.

С увеличением силы тока увеличивается скорость расплавления электрода и растет глубина металлической ванны $h_{м.в}$. Ширина шва изменяется незначительно (рис. 6,б.). С увеличением скорости подачи электрода v_{np} (обычно составляет 100-500 м/ч) конец электрода погружается в шлаковую ванну более глубоко. Это уменьшает напряжение сварки $U_{св}$,

глубину металлической ванны $h_{ш}$ и ширину шва $b_{ш}$. Коэффициент формы шва (формы металлической ванны) $\psi = b_{пр}/h_{м.в.}$ уменьшается с ростом силы тока и подвышается с увеличением диаметра электрода и напряжения сварки.

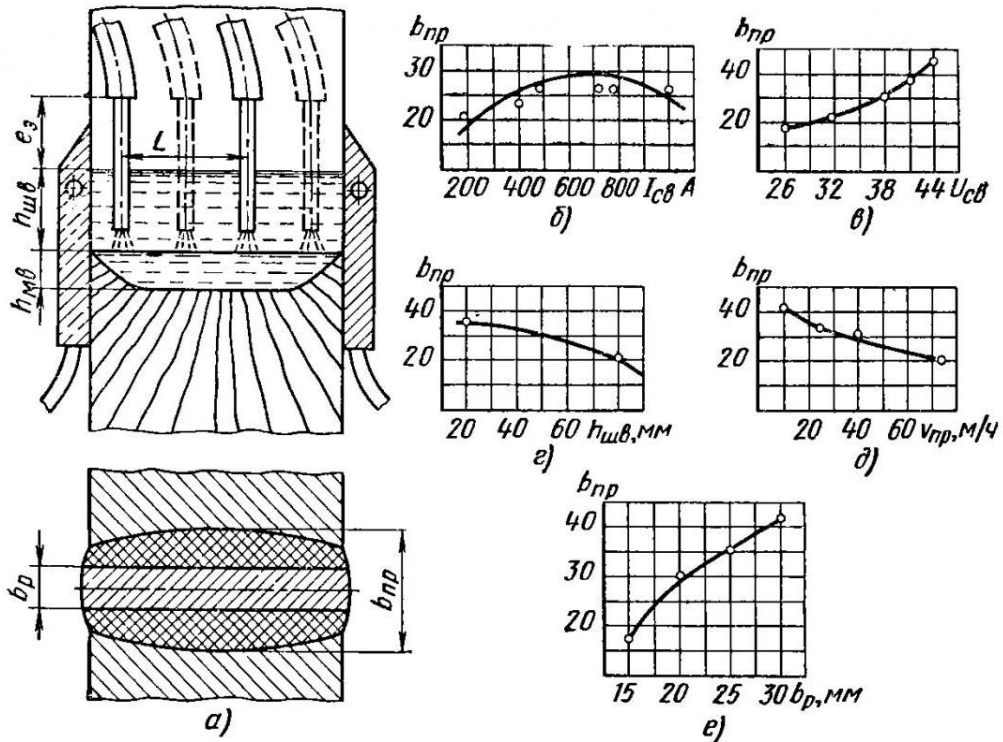


Рисунок 6 - Зависимость размеров и формы шва (а) от основных параметров электрошлаковой сварки (б - е). Значения параметров сварки за исключением рассматриваемого: $I_{св} = 600 A$; $V_{пр} = 40 м/ч$; $U_{св} = 38-40 В$; $b_р = 20 мм$

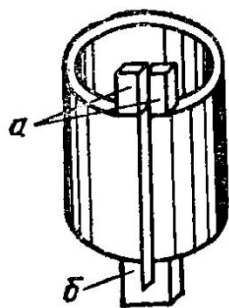


Рисунок 7- Установка выходных (а) и входных (б) планок при электрошлаковой сварке

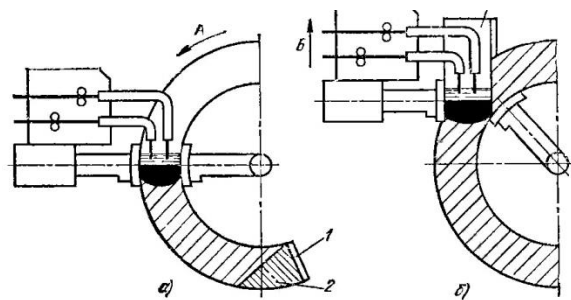


Рисунок 8- Электрошлаковая сварка кольцевого шва: а - вырезка дефектов в начале сварки; б - замыкание шва; стрелки:

А - направление вращения изделия;

Б - перемещение автомата

Число электродных проволок, их диаметр и сечение пластинчатых электродов или плавящихся мундштуков, скорость их подачи и другие

параметры выбирают таким образом, чтобы получить скорость и напряжение сварки, обеспечивающие устойчивость процесса и требуемые размеры и форму шва.

Применение электрошлаковой сварки вносит коренные изменения в технологию производства крупногабаритных изделий. Появляется возможность замены крупных литых или кованных деталей сварно-литыми или сварно-коваными из более мелких поковок или отливок.

Заготовки под сварку следует собирать с учетом усадки стыка после сварки. Для плотного прилегания ползунов и формирующих устройств к кромкам стыка последние зачищают от заусенцев, окалины и т. д. на ширину до 100 мм. Для вывода за пределы шва усадочной раковины в конце шва (рисунок 7.) устанавливают выходные, а вывода непроваров в начале шва - входные планки, которые после сварки удаляют резкой. Для начала сварки в карман, образованный входными планками, засыпают флюс, который плавится сварочной дугой до получения шлаковой ванны требуемых размеров. После этого дуга шунтируется шлаком, и процесс переходит в бездуговой - электрошлаковый.

Перед началом сварки можно заливать шлак, расплавленный в специальном кокиле. Для наведения электрошлаковой ванны можно использовать специальные флюсы, электропроводные в твердом состоянии. Оригинален процесс сварки кольцевых швов (рисунок 8.). Сварку начинают на входной планке 1. В процессе дальнейшей сварки при вращении изделия дефектный участок в начале шва 2 вырезают для замыкания шва. При замыкании шва вращение изделия прекращается и начинается перемещение сварочной установки вверх как при обычной сварке прямолинейного шва. Замыкание шва и вывод усадочной раковины осуществляют с помощью специального кармана из пластин 3 или кокиля. Типы сварных соединений и вид сварных швов, получаемых при электрошлаковой сварке, показаны на рисунке 9.

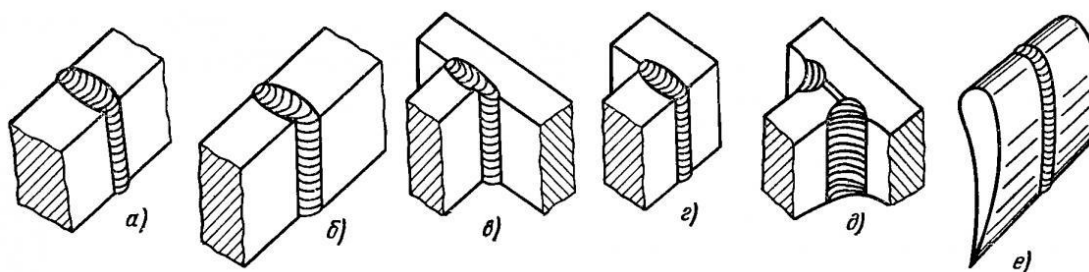


Рисунок 9 - Основные типы сварных соединений, выполняемых электрошлаковой сваркой:

а и б - стыковые; в и д - тавровые; г - угловые; е - переменного сечения

3. Режимы электрошлаковой сварки

При электрошлаковой сварке электродом может служить не только проволока, но и электроды в виде пластин, стержней.

Пластинчатые электроды применяются главным образом при большой толщине свариваемых деталей и небольшой высоте швов жидкого металла и перегретого шлака. Электрошлаковая сварка может быть осуществлена одним проволочным электродом диаметром 2 или 3 мм без поперечных колебаний и с постоянной скоростью подачи проволоки в шлаковую ванну при сварке металла толщиной до 50 мм. При сварке больших толщин применяют двух-, трех- и многоэлектродную сварку проволочными электродами без поперечных или с поперечными колебаниями.

Электрошлаковой сваркой можно выполнить любой тип соединений, регламентированных ГОСТ 15164-79.

Основные параметры режима электрошлаковой сварки:

1. Диаметр электродной проволоки, $d_{эл}$.
2. Сила сварочного тока, $I_{св}$, А.
3. Напряжение на шлаковой ванне, $U_{ш.в.}$, В.
4. Скорость сварки, $V_{св}$, м/ч.
5. Скорость подачи электрода, $V_{п.э.}$, м/ч.
6. Скорость поперечных перемещений электрода, $V_{п.п.}$, м/ч.

Дополнительные параметры режима являются:

1. Сухой вылет электрода, l_c , сек.
2. Время выдержки у ползуна при сварке с поперечными колебаниями, b_v , сек.
3. Число сварочных проволок - электродов, $n_{эл}$.
4. Величина зазора в стыке, В, мм.
5. Глубина шлаковой ванны, $h_{шл}$, мм.
6. Недоход электрода до ползуна.
7. Марка флюса.
8. Расстояние между электродами, $l_э$, мм.

Расчет режима электрошлаковой сварки проволочными электродами

1. Диаметр проволочного электрода выбирают по толщине металла.

Наиболее рациональное применение проволоки диаметрами 2 и 3 мм, так как увеличение диаметра проволоки приводит к росту ширины провара и уменьшению глубины шлаковой ванны.

2. Зазор в стыке определяют по толщине металла, пользуясь рекомендациями ГОСТ 15164-79 или таблицей 1

Таблица 1 - Расчетные зазоры при электрошлаковой сварке углеродистых сталей проволокой диаметром 3 мм

	Толщина листа, мм					
	50..70	70...100	100...200	200...500	500...1000	1000...2000
Зазор, мм	18	20	22	25	30	30

3. Число проволочных электродов ($n_{эл}$) выбирают по таблице 2.

Таблица 2 - Рекомендации по выбору числа электродов

Число проволочных электродов	Толщина свариваемых листов	
	без поперечных колебаний, мм	с поперечными колебаниями, мм
1	40-60	60-150
2	60-100	100-300
3	100-150	150-500

4. Расстояние между электродами l_3 .

- при сварке без поперечных колебаний принимают равным 30-50 мм,
- при сварке с поперечными колебаниями – 50-180 мм.

При числе электродов более трех, количество электродов $n_{эл}$ определяют по формуле:

$$n_{эл} = \frac{S}{l_3},$$

где S – толщина свариваемого металла, мм;

l_3 – расстояние между электродами, мм.

5. Сухой вылет электрода – расстояние от нижней точки мундштука до поверхности шлаковой ванны (l_c), находится в пределах 60-70 мм.

6. Сила сварочного тока на одну сварочную проволоку:

$$I_{св} = A + B + \frac{S}{n_{эл}}$$

где S – толщина металла, мм;

$n_{эл}$ – число проволочных электродов;

A – коэффициент, равный 220-280;

B – коэффициент, равный 3,2-4,0.

Сварочный ток с учетом количества проволок определяется по формуле:

$$I_{св}^п = I_{св} \cdot n_{эл}.$$

7. Напряжение шлаковой ванны:

$$U_{\text{ш.в.}} = 12 + \sqrt{\frac{25+S}{0,075 \cdot n_{\text{эл}}}}$$

где S – толщина свариваемого металла, мм;

$n_{\text{эл}}$ – количество проволочных электродов.

8. Скорость подачи проволочных электродов:

$$V_{\text{н.э.}} = \frac{I_{\text{св}}}{1,6 \dots 2,2}, \text{ (м/ч)}$$

где $I_{\text{св}}$ – сила сварочного тока, А.

9. Скорость сварки:

$$V_{\text{св}} = \frac{n_{\text{эл}} \cdot L_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot B \cdot S \cdot K_{\gamma}}$$

где $n_{\text{эл}}$ – количество проволочных электродов;

$L_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки, г/А ч ($L_{\text{н}} = 30 \div 35$ г/А ч);

$I_{\text{св}}$ – сила сварочного тока, А;

γ – плотность наплавленного металла, г/см ($7,8$ см³ – для стали);

B – величина зазора в стыке, мм;

S – толщина свариваемого металла, мм;

K_{γ} – коэффициент, учитывающий выпуклость шва ($K_{\gamma} = 1,05-1,1$)

10. Глубина шлаковой ванны ($h_{\text{шл}}$), от которой зависит устойчивость процесса и ширина провара:

$$h_{\text{шл}} = I_{\text{св}}^n \cdot (0,0000375 \cdot I_{\text{св}} - 0,0025) + 30 \text{ (мм)},$$

где $I_{\text{св}}$ – сила сварочного тока, А;

$I_{\text{св}}^n$ – сила сварочного тока с учетом количества проволок, А.

11. Скорость поперечных перемещений электрода. м/ч

$$U_{\text{п.п.}} = \frac{66 - 0,22 \cdot S}{n_{\text{эл}}}$$

где S – толщина свариваемого металла, мм;

$n_{\text{эл}}$ – количество проволочных электродов.

12. Время выдержки у ползуна, с

$$t_{\text{в}} = \frac{0,0375 \cdot S}{n_{\text{эл}}} + 0,75$$

13. Недоход электрода до ползунов принимают равным 5-7 мм.

Расчет режимов электрошлаковой сварки пластинчатыми электродами

Электрошлаковая сварка пластинчатыми электродами применяется для соединения массивных изделий с длиной швов до 1 – 1,5 м. При сварке пластинчатыми электродами сечение деталей в месте стыка должно иметь

прямоугольную форму.

1. Число пластинчатых электродов:

$$n_{эл} = \frac{S}{70 \dots 100}$$

где S – толщина свариваемого металла, мм.

При толщине деталей до 150 мм допускается сварка одним пластинчатым электродом.

2. Ширина каждого из электродов:

$$B = \left[\frac{S - 11 \cdot (n_{эл} - 1)}{n_{эл}} \right] \pm 2 (\text{мм}),$$

где S – толщина свариваемого металла, мм.

$n_{эл}$ – число пластинчатых электродов.

3. Число фаз ($n_{ф}$) выбирают исходя из расчета более равномерной загрузки фаз. При трех и более электродах число фаз, $n_{ф} = 3$.

4. Допустимый удельный ток, А/мм

$$i_{доп} = \frac{I_{ф} n_{эл}}{S n_{ф}}$$

где $I_{ф}$ – допустимый сварочный ток на каждую фазу, А;

$n_{эл}$ – количество пластинчатых электродов;

S – толщина свариваемого сечения, мм;

$n_{ф}$ – число фаз.

Допустимый сварочный ток на каждую фазу $I_{ф}$ принимается равным номинальному току сварочного трансформатора. При сварке аппаратом А-480 с трансформатором ТШС – 3000-3, $I_{ф} = 3000$ А.

5. Зазор между кромками свариваемых деталей, мм

$$a = (S + 14) \pm 2$$

6. Минимальная толщина пластинчатого электрода. Находят исходя из условий заполнения разделки.

$$S_{\min} = \frac{a \cdot S \cdot L}{B \cdot n_{эл} \cdot H},$$

H – рабочий ход суппорта сварочного аппарата, мм
для аппарата А-480 $H = 2300$ мм);

7. Величина сварочного тока $I_{св}$ на каждой фазе

$$I_{св} = n_{ф} \cdot B \cdot i_{доп} \text{ (А)},$$

где $n_{ф}$ – число фаз;

B – ширина электрода, мм;

$i_{доп}$ – удельный допустимый ток, (А/мм).

8. Глубину шлаковой ванны ($h_{шл}$) в соответствии с удельным допустимым сварочным током, ($i_{доп}$) находят по рисунку 10. В процессе сварки допустимы отклонения от найденного значения не более ± 3 мм.

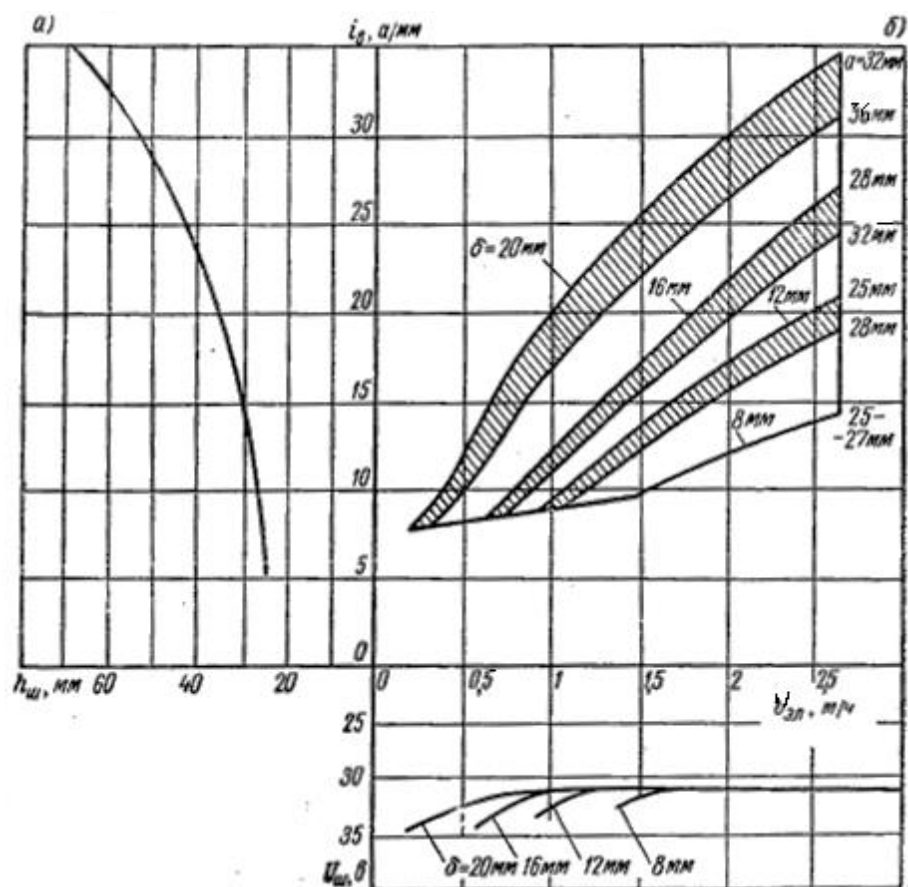


Рисунок 10 -График для определения режима электрошлаковой сварки пластинчатыми электродами ($V_{эл}$, $h_{шв}$, $U_{шв}$)

9. Напряжение на шлаковой ванне ($U_{ш.в.}$) определяют по графику рисунка 1 по толщине пластинчатого электрода и скорости подачи электрода. Для аппарата А-480 скорость подачи электрода, $V_{п.э.} = 1,03$ м/ч. В процессе сварки допустимы отклонения от найденного значения не более ± 1 В.

10. Напряжение холостого хода ($U_{х.х.}$) сварочного трансформатора зависит от степени жесткости характеристики источника питания.

При применении трансформатора ТШС – 3000- 3 следует принимать:

$$U_{х.х.} = (U_{шв} + 2) \cdot (В) \text{ при } I_{св} \leq 1500 \text{ А}$$

$$U_{х.х.} = (U_{шв} + 4) \cdot (В) \text{ при } I_{св} > 1500 \text{ А}$$

11. Полная длина электрода

$$Z = 1,2 \cdot L (1 + B + 2 \cdot \delta / \delta) + T \text{ (мм)}$$

где L – высота свариваемого сечения (длина шва), включая высоту кармана и выводных планок, мм;

B – зазор между свариваемыми кромками, мм;

δ – толщина пластинчатого электрода, мм;

T – технологический припуск для крепления электродов и токоподвода ($T = 300$ мм).

Контрольные вопросы:

1. Что является источником тепла при ЭШС?
2. В чем особенности конструкции формирующих устройств для ЭШС?
3. Как крепятся и перемещаются формирующие ползуны?
4. Какие токоведущие мундштуки применяются при ЭШС?
5. Назовите формы электродов для ЭШС;
6. Какие источники питания применяются для ЭШС?
7. Каковы технологические особенности электрошлаковой сварки?
8. Какие параметры режима ЭШС относят к основным?
9. Для чего применяется выдержка электрода у ползунов?
10. С какой целью используют стержни и пластины при ЭШС?
11. Почему в режимах сварки пластинчатыми электродами отсутствует скорость сварки?