

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шамсутдинов Расим Адегамович

Должность: Директор ПО КНИТУ-КАИ

Дата подписания: 22.12.2025 08:50:15

Уникальный программный ключ:

d31c25eab5d6fb0cc50e03a64dfdc00329a085e3a993ad1080663082c961114

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

Лениногорский филиал

Кафедра Машиностроения и информационных технологий

Теоретические основы сварки плавлением

Методические указания по выполнению курсовой работы
для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение»,
профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Лениногорск, 2025 г.

УДК 621.791.01.

ББК 34

Методические указания по выполнению курсовой работы для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Пособие составлено на основе требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования к содержанию и уровню подготовки бакалавра по направлению 15.03.01

Рецензенты:

Шафигуллин Л.Н., доцент, кандидат технических наук (КФУ)

Павлов О.Ю., доцент, кандидат технических наук (КНИТУ-КАИ)

Составитель: ст. преподаватель Граф Елена Владимировна

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Цель и задачи курсовой работы	5
2 Тематика курсовой работы	5
3 Объем, содержание и требования к оформлению курсовой работы	5
4 Методические указания к выполнению курсовой работы	6
4.1 Расчёт режимов дуговой сварки покрытыми электродами	6
4.2 Расчёт режимов дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов	14
4.3 Расчёт режимов дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа	18
4.4 Расчёт режимов дуговой сварки порошковой проволокой	21
4.5 Расчёт режимов дуговой сварки под флюсом	24
4.6 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии	28
4.7 Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса	29
4.8 Выбор сварочного оборудования	29
4.9 Оформление операционно-технологической карты сборки и сварки	30
Список литературы	31

Введение

В современных условиях сварочного производства металлоконструкций широко применяют различные методы и способы сварки, тем не менее, наиболее часто используемой в практике является электродуговая сварка, которая может быть реализована в виде:

- ручной дуговой сварки покрытыми электродами;
- полуавтоматической и автоматической сварки под слоем флюса;
- ручной, полуавтоматической, автоматической и роботизированной сварки в среде защитного газа (газов);
- полуавтоматической, автоматической и роботизированной сварки самозащитной проволокой.

Ясность процесса образования сварного соединения, способность сваривать многие металлы и сплавы в самом широком диапазоне толщин, универсальность процесса, широкие возможности для механизации, автоматизации и роботизации сварочной технологии делают электродуговую сварку наиболее массовым способом сварки в различных отраслях промышленности.

Следует отметить, что производительность процесса сварки во много зависит от параметров режима, поэтому расчет параметров режима сварки, позволяющий обоснованно предложить определенную технологию, уточнить степень механизации, автоматизации или роботизации процесса сварки, является актуальной задачей.

1 Цель и задачи курсовой работы

Курсовая работа является заключительным этапом освоения дисциплины «Теоретические основы сварки плавлением». Поэтому основной целью курсовой работы является приобретение студентами навыков по практическому применению теоретических знаний, полученных при изучении курса.

При выполнении курсовой работы студенты должны осуществить выбор целесообразного способа сварки, сварочных материалов, рассчитать технологические параметры режима, подобрать сварочное оборудование, при необходимости дать рекомендации по термической обработке изделий, разработать операционно-технологическую карту сборки и сварки.

2 Тематика курсовой работы

Темой курсовой работы является разработка технологии сварки конструкции, выполненной из углеродистой/легированной/высоколегированной стали, указанной в индивидуальном задании.

3 Объем, содержание и требования к оформлению курсовой работы

3.1 Курсовая работа выполняется в соответствии с «Положением о курсовых работах ЛФ КНИТУ-КАИ» и состоит из расчетно-пояснительной записи.

3.2 Расчетно-пояснительную записку оформляют на стандартных листах белой бумаги форматом А4 (297x210) в соответствии с «Методическими рекомендациями по оформлению курсовых работ». Содержание текста должно быть кратким, исчерпывающее ясным и литературно правильным. Рекомендуемый объем расчетно-пояснительной записи (без приложений) 20...30 страниц.

3.3 Рекомендуется следующее построение записи:

- титульный лист;
 - задание;
 - содержание;
 - аннотация;
 - введение;
1. Описание основного материала
 2. Характеристика способов сварки
 3. Расчет параметров режима сварки.
 4. Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии.

5. Выбор сварочных материалов
6. Расчет расхода сварочных материалов
7. Выбор сварочного оборудования
8. Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса
9. Заключение.

- заключение;
- список использованных источников и литературы;
- приложения (операционно-технологическая карта сборки и сварки).

3.4 Графический материал курсовой работы должен быть представлен в виде чертежа конструкции с обозначением сварных швов. Спецификации к ней.

4 Методические указания к выполнению курсовой работы

4.1 Расчёт режимов дуговой сварки покрытыми электродами

Режимом сварки называют совокупность основных и дополнительных характеристик сварочного процесса, обеспечивающих получение сварных швов заданных размеров, формы и качества.

При дуговой сварке покрытыми электродами основными параметрами режима сварки являются: диаметр электрода, сила сварочного тока, напряжение дуги, площадь поперечного сечения шва, выполняемого за один проход, число проходов, род и полярность тока и др.

Поскольку конкретную марку электрода выбирают исходя из свойств основного металла, то такие параметры режима сварки, как род тока, полярность, коэффициент наплавки устанавливают по справочным или паспортным данным.

Определение остальных параметров режима сварки обычно начинают с выбора диаметра электрода, так как он в значительной мере определяет другие параметры.

4.1.1 Выбор диаметра электрода

Диаметр электрода d_e назначают в зависимости от требуемой глубины проплавления металла $h_{пр}$ и способа сварки. Глубина проплавления, в свою очередь, определяется толщиной металла и типом сварного шва:

- для стыковых односторонних швов глубина проплавления равна толщине свариваемого металла: $h_{пр}=\delta$;
- для стыковых односторонних швов с разделкой кромок: $h_{пр}=0,7\delta$;
- для стыковых двухсторонних швов: $h_{пр}=0,6\delta$;
- для стыковых швов, выполняемых на остающейся подкладке: $h_{пр}=\delta+1$ мм;
- для угловых швов: $h_{пр}=0,6\delta$.

Примерные значения диаметров приведены в таблице 1.

Таблица 1

Выбор диаметров электродов и сварочных проволок

Способ сварки	Глубина проплавления $h_{\text{пр}}$, мм			
	2	3-5	5-10	10-20
Диаметр электрода (проводки) d_3 , мм				
Ручная сварка покрытыми электродами	2,5	3,0; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0
Автоматическая под флюсом	-	2,0; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0

При многопроходных швах сварку всех проходов стремятся выполнить на одних и тех же режимах. Исключением является первый проход. При сварке многослойных или многопроходных швов первый проход (корень шва) выполняется электродами диаметром до 3,0 мм (диаметр электродов 3,25 мм включительно), так как применение электродов большого диаметра затрудняет провар и формирование корня шва.

4.1.2 *Определение силы сварочного тока*

Расчёт силы сварочного тока при сварке покрытыми электродами производится по диаметру электрода и допускаемой плотности тока (таблица 2):

$$I_{\text{cb}} = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot j \quad (1)$$

где d_3 – диаметр электродного стержня, мм;

j – допустимая плотность тока, А/мм².

Таблица 2

Допустимая плотность тока (А/мм²) при ручной дуговой сварке покрытыми электродами

Вид покрытия	Диаметр стержня электрода, мм			
	3,0	4,0	5,0	6,0
Кислое, рутиловое	14...20	11,5...16	10...13,5	9,5...12,5
Основное	13...18,5	10...14,5	9...12,5	8,5...12,0
Целлюлозное	12,7...16,9	9,6...13,6	8,2...9,7	-

Вид покрытия оказывает влияние на скорость плавления электрода, и, следовательно, на плотность тока, в связи с их различной теплопроводностью и характером протекания metallургических процессов. Величины допустимых плотностей тока в зависимости от диаметра стержня и вида покрытия приведены в таблице. Представленные плотности тока указаны для нижнего пространственного положения выполнения сварки.

Допустимая плотность тока зависит от диаметра электрода и вида покрытия. Чем больше диаметр электрода, тем меньше допустимая плотность тока, так как снижается интенсивность охлаждения электродного стержня и покрытия.

Необходимо учитывать, что при сварке высоколегированных сталей сила сварочного тока выбирается на 10...30% меньше, чем при сварке низколегированных сталей, что связано с большим электрическим сопротивлением, возможностью разогрева электродного стержня до высоких температур и разрушением электродного покрытия, высокой вероятностью выгорания легирующих элементов сварного шва и зоны термического влияния.

При недостаточной величине тока дуга горит неустойчиво и не обеспечивает стабильного плавления электродного и основного металла. При большом сварочном токе электрод плавится слишком интенсивно, возрастают потери на разбрзгивание и угар, ухудшаются устойчивость дуги и качество формирования шва, обеспечиваются высокие значения погонной энергии и, как следствие, увеличение тепловложения, что не всегда желательно. Скорость плавления электрода в начале и в конце процесса отличается более чем на 30%.

Для приближённых расчётов сварочный ток может быть определён по эмпирической формуле (2).

$$I_{\text{св}} = k \cdot d_{\varnothing} \quad (2)$$

где k – коэффициент, принимаемый в зависимости от диаметра стержня электрода (таблица 3)

Таблица 3

Зависимость коэффициента k от диаметра стержня электрода

Диаметр стержня электрода, мм	1,6...2,5	3,0...4,0	5,0; 6,0
Коэффициент – k , А/мм	25...30	30...45	45...60

При сварке в положениях, отличных от нижнего, с целью улучшения формирования шва, сварочный ток уменьшают по сравнению с расчётным на 10...20%. Причём для сварки в потолочном положении вводится коэффициент 0,9; для соединений, выполненных в вертикальном и горизонтальном положении вводится коэффициент 0,8. Для сварки во всех пространственных положениях рекомендуется использовать электроды диаметром не более 4,0 мм, а при сварке в вертикальном положении и горизонтальном положении – не более 5,0 мм. Электроды диаметром более 6 мм используются лишь для сварки в нижнем положении или "в лодочку".

4.1.3 Определение напряжения на дуге

Напряжение сварки U_d зависит от многих факторов: типа и толщины покрытия, состава и диаметра стержня (электрода), положения шва и длины дуги.

Рассчитываем U_d для электродов: основного типа

$$U_d = 12 + 0.36 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_{\varnothing}} \quad (3)$$

рутинового типа

$$U_d = 12 + 1.7 \cdot \frac{I_{cv}}{d_3} \quad (4)$$

где I_{cv} , А; d_3 , мм; U_d , В.

Обычно значения напряжения на дуге находится в пределах 20-36 В. Для большинства марок электродов используемых при сварке углеродистых и легированных конструкционных сталей величина напряжения на дуге составляет 22-28 В.

4.1.4 Определение числа проходов

При определении числа проходов (в дальнейшем все расчётные числа проходов, площади сечения металла шва будут рассматриваться только для наплавленного металла) следует иметь в виду, что:

- а) сечение первого прохода не должно превышать 30...35 мм^2 , а последующих 30...40 мм^2 ;
- б) при сварке угловых и тавровых соединений за один проход выполняются швы катетом не более 8...9 мм.

При необходимости выполнения шва с большим катетом применяется сварка за два и более проходов. Данные ограничения вводятся для нормального и стабильного процесса, хорошего формирования шва и протекания в полном объёме при сварке всех реакций металлургического характера.

При слишком большом слое наплавленного металла (сечение шва более 40 мм^2), т.е. при заниженной скорости сварки, жидкий металл натекает на опорное пятно дуги, ухудшая условия передачи тепла основному металлу. В результате этого эффективность проплавления металла снижается, что вызывает непровары и неудовлетворительное формирование шва. Чрезмерное увеличение скорости сварки также вызывает неудовлетворительное формирование шва, образование несплавлений и непроваров, что обусловлено уменьшением погонной энергии (количества тепла, приходящего на единицу длины шва).

При сварке швовстыковых соединений площадь поперечного сечения металла, наплавляемого за один проход, при которой обеспечиваются оптимальные условия формирования, должна составлять не более, мм^2 :

для первого прохода (при сварке корня шва)

$$F_1 = (6 \dots 8) \cdot d_3 \quad (5)$$

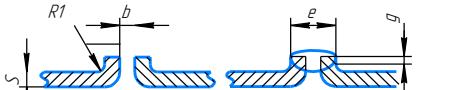
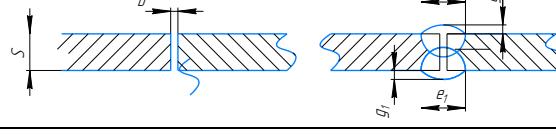
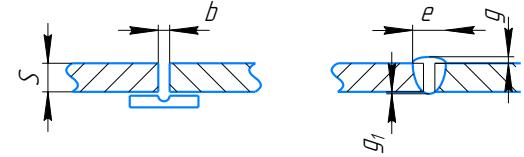
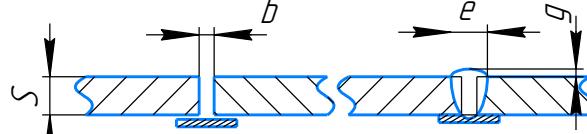
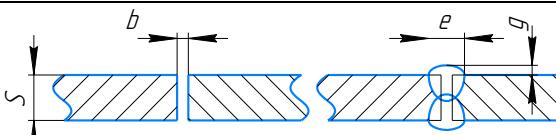
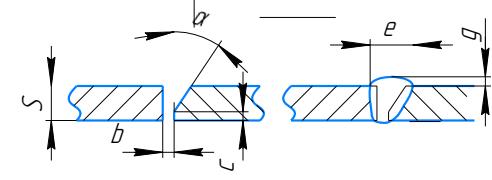
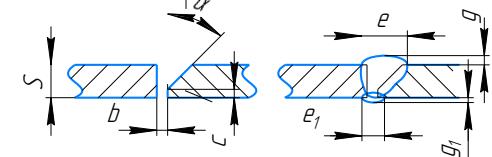
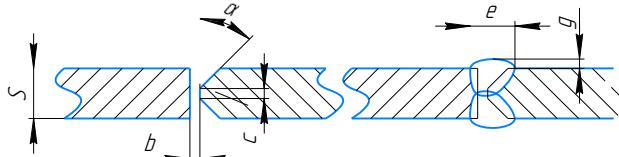
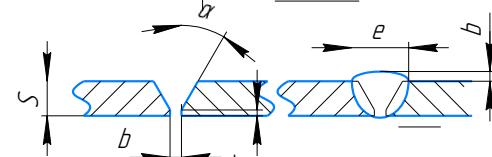
для последующих проходов

$$F_n = (8 \dots 12) \cdot d_3 \quad (6)$$

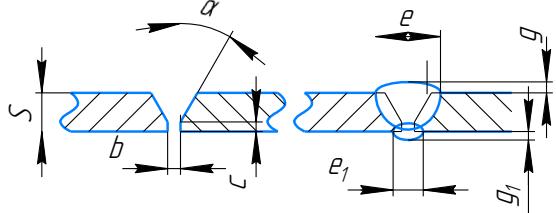
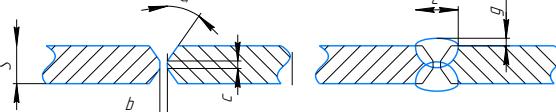
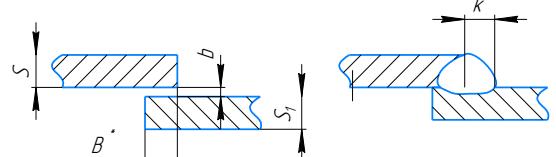
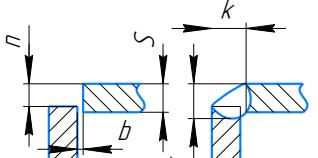
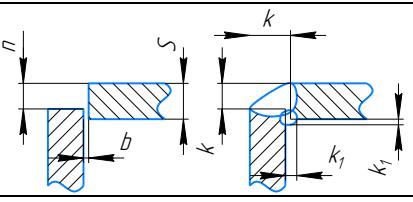
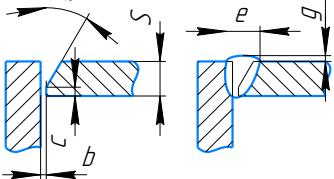
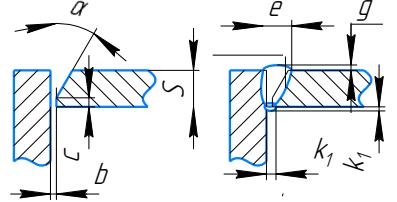
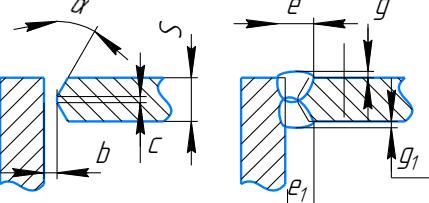
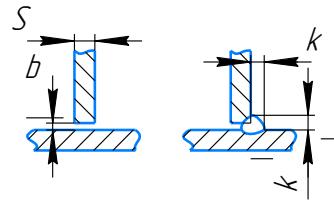
Для определения числа проходов при сварке швов стыковых соединений с разделкой кромок необходимо рассчитать общую площадь поперечного сечения наплавленного металла (таблица 4). Размеры сварного шва уточняются по стандартам и берутся номинальные значения.

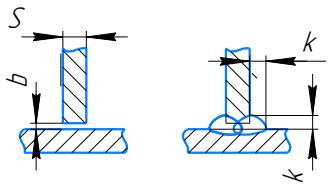
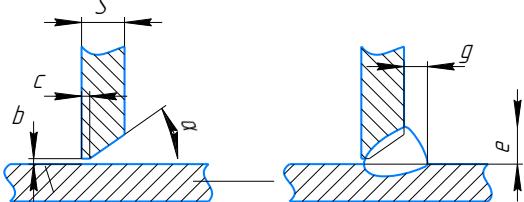
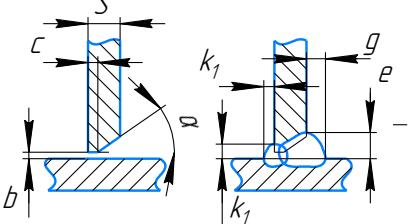
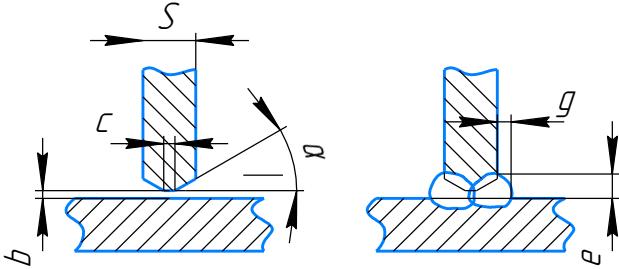
Таблица 4

Формулы для расчета площади поперечного сечения некоторых сварных швов

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей и сварного шва	Формула
C1		$F_H = Sb + 0,75eg$
C2		$F_H = Sb + 0,75(eg + e_1g_1)$
C4		$F_H = Sb + 0,75(eg + e_1g_1)$
C5		$F_H = Sb + 0,75eg$
C7		$F_H = Sb + 1,5eg$
C8		$F_H = Sb + 0,5(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75eg$
C12		$F_H = Sb + 0,5(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75(eg + e_1g_1)$
C15		$F_H = Sb + 0,25(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 1,5eg$
C17		$F_H = Sb + (S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75(eg + e_1g_1)$

Продолжение таблицы 4

C21		$F_H = Sb + (S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75(eg + e_1g_1)$
C25		$F_H = Sb + 0,5(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 1,5eg$
H1		$F_H = 0,5k^2 + 10,5k$
y4		$F_H = Sb + 0,5n^2 + 1,05k$
y5		$F_H = Sb + 0,5n^2 + 1,05n + 0,5k_1^2 + 1,05k_1$
y6		$F_H = Sb + 0,5(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75eg$
y7		$F_H = Sb + 0,5(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75eg + 0,5k_1^2 + 1,05k_1$
y8		$F_H = Sb + 0,25(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75(eg + e_1g_1)$
T1		$F_H = 0,5k^2 + 1,05k$

T3		$F_h = k^2 + 2,1k$
T6		$F_h = Sb + 0,5(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75eg$
T7		$F_h = Sb + 0,5(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 0,75eg + 0,5k_1^2 + 1,05k_1$
T8		$F_h = Sb + 0,25(S - c)^2 \operatorname{tg} \alpha + 1,5eg$

Зная общую площадь поперечного сечения наплавленного металла и площади поперечного сечения наплавленного металла при первом и каждом последующем проходах (5) и (6), найдем необходимое число проходов для обеспечения заданной геометрии шва.

$$n = \frac{F_h - F_1}{F_{\pi}} + 1 \quad (7)$$

4.1.5 Определение скорости сварки

Скорость дуговой сварки покрытыми электродами обычно задается и контролируется косвенно по необходимым размерам получаемого шва и может быть определена по формуле:

$$V_{cb} = \frac{\alpha_h \cdot I_{cb}}{\gamma \cdot F_h \cdot 100} \quad (8)$$

где α_h – коэффициент наплавки, г/(A·ч);

F_h – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см²;

γ – плотность наплавленного металла, г/см³.

Коэффициент наплавки (таблица 5) принимают из характеристик выбранного электрода.

Таблица 5

Коэффициенты наплавки и расхода некоторых электродов

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Коэффициент расхода электродов, $k_{\text{эл}}$
Э42А	УОНИ 13/45	9,5	1,65
Э42А	СМ-11	10,0	1,7
Э46	МР-3	7,5	1,7
Э46	ОЗС-4	9,0	1,65
Э46	АНО-3	9,0	1,65
Э50А	УОНИ 13/55	9,5	1,65
Э50А	АНО-10	12,5	1,5
Э55	ВСФ-50	8,0	1,6
Э60	ВСФ-60	8,0	1,6

С достаточной для инженерных расчетов точностью плотность наплавленного металла (плотность стали) может быть принята равной 7,85 г/см³.

4.1.6 *Определение длины дуги*

Длина дуги, мм, влияет на качество сварки. Короткая дуга, равная $(0,5 - 1,1)d_{\text{эл}}$, горит устойчиво и спокойно. Она обеспечивает получение высококачественного шва, расплавленный металл электрода быстро проходит дуговой промежуток и меньше подвергается окислению и азотированию. Но слишком короткая дуга вызывает «залипание» электрода, дуга прерывается, нарушается процесс сварки. Длинная дуга горит неустойчиво, с характерным «шипением», глубина проплавления недостаточная, расплавленный металл электрода разбрызгивается. Для электродов с толстым покрытием длину дуги указывают на заводской этикетке.

4.1.7 *Определение массы наплавленного металла*

Масса наплавленного металла, г, для ручной дуговой сварки рассчитывается по формуле:

$$G_{\text{н}} = F_{\text{н}} \cdot L \cdot \gamma \quad (9)$$

где L – длина шва, см.

4.1.8 *Определение расхода электродов*

Расход электродов, г, для ручной дуговой сварки определяют по формуле:

$$G_{\text{э}} = G_{\text{н}} \cdot k_{\text{эл}} \quad (10)$$

где $k_{\text{эл}}$ – коэффициент, учитывающий расход электродов на 1 кг наплавленного металла (таблица 5).

4.1.9 *Определение времени горения дуги и полного времени сварки*

Время горения дуги, ч, определяется как:

$$t_0 = \frac{G_{\text{н}}}{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{cb}}} \quad (11)$$

Полное время сварки, ч, приближенно можно оценить по формуле:

$$T = \frac{t_0}{k_{\pi}} \quad (12)$$

где k_{π} – коэффициент использования сварочного поста, который может быть принят равным 0,50 – 0,55.

4.1.10 Определение расхода электроэнергии

Расход электроэнергии, кВт ч, определяют по формуле:

$$A = \frac{U_d \cdot I_{cb}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0(T - t_0) \quad (13)$$

где η – КПД источника питания сварочной дуги (для источников питания постоянного тока может быть принят равным 0,70 – 0,75; для источников питания переменного тока – 0,85 – 0,90);

W_0 – энергия, расходуемая источником питания на холостом ходе (для источников питания постоянного тока может быть принята равной 0,2 – 0,4 кВт; для источников питания переменного тока можно принять равной нулю).

4.2 Расчёт режимов дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов

Дуговая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов может выполняться в ручном, механизированном и автоматизированном режимах.

При этом сварка может выполняться без присадочных материалов и с присадочными материалами.

Отметим, что односторонняя сварка неплавящимся электродом встык без разделки кромок, без гарантированного зазора, без присадки может быть выполнена с полным проваром при толщине металла не более 5 мм, в тоже время применение присадочной проволоки позволяет получать соединения при толщине металла более 1,5 мм.

При дуговой сварке неплавящимся электродом к параметрам режима сварки относятся род и полярность тока, диаметр электрода, сила сварочного тока, напряжение на дуге, скорость сварки, вылет электрода, расход защитного газа.

Род и полярность тока. Большинство сталей и металлов сваривают на постоянном токе прямой полярности. На переменном токе сваривают алюминий, магний и бериллий.

4.2.1 Выбор диаметра электрода

Диаметр вольфрамового электрода, мм, выбирают в зависимости от толщины и вида свариваемого материала (табл. 6).

Таблица 6

Зависимость диаметра вольфрамового электрода

Цветные металлы					
Толщина металла, мм	1	2	4	5-6	7 и более
Диаметр электрода, мм	1,5	2	3	4	5
Углеродистые конструкционные и нержавеющие стали					
Толщина металла, мм	0,5	1	2	3	4
Диаметр электрода, мм	1	1,5	2	3	4
					5 и более
					6

4.2.2 *Определение силы сварочного тока*

Сила сварочного тока, А, определяется диаметром вольфрамового электрода (таблица 7), его маркой и материалом свариваемого изделия, также следует учитывать род и полярность тока.

Таблица 7

Зависимость силы сварочного тока от диаметра вольфрамового электрода

Диаметр электрода, мм	Род и полярность тока		
	Переменный ток	Постоянный ток прямой полярности	Постоянный ток обратной полярности
1-2	20 – 100	65 – 160	10 – 30
3	100 – 160	140 – 180	20 – 40
4	140 – 220	250 – 340	30 – 50
5	200 – 280	300 – 400	40 – 80
6	250 – 300	350 – 450	60 – 100

Зависимость между максимально допустимым сварочным током и диаметром электрода при сварке на постоянном токе прямой полярности выражается формулой:

$$I_{cb} = 65 \cdot \sqrt{d_3^3} \quad (14)$$

Наилучшими сварочными характеристиками обладают иттрированные электроды ЭВИ-3, они дают возможность работать на относительно больших плотностях тока (до 50 А/мм²) при меньшем расходе вольфрама.

4.2.3 *Определение напряжения на дуге*

Напряжение на дуге, В, зависит от ее длины. Рекомендуется вести сварку на минимально короткой дуге, что соответствует пониженному напряжению на ней. При повышении напряжения увеличивается ширина шва, уменьшается глубина проплавления и ухудшается защита зоны сварки. Оптимальная длина дуги составляет 1,5 – 3 мм, что соответствует напряжению 11 – 14 В.

4.2.4 *Определение скорости сварки*

Скорость сварки, м/ч, определяют опытным путем в зависимости от размеров и формы получаемого шва.

В случае определенности коэффициента наплавки и силы сварочного тока, может быть использована зависимость

$$V_{cb} = \frac{\alpha_h \cdot I_{cb}}{\gamma \cdot F_h \cdot 100} \quad (15)$$

где α_h – коэффициент наплавки, г/(А ч);

γ – плотность наплавленного металла, г/см³;

F_h – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см² (таблица 4).

Следует отметить, что отсутствует возможность теоретически оценить величину коэффициента наплавки вследствие влияния техники ведения сварочных работ и других факторов на данную величину. Из справочных данных известно, что производительность процесса аргонодуговой сварки лежит в пределах 1,0 – 1,7 кг/ч, при соответствующей величине сварочного тока 100 – 400 А. Соотнеся эти показатели можно сказать, что величина коэффициента наплавки может колебаться в пределах 4,2 – 10 г/А ч, и должна уточняться в каждом конкретном случае сварочной технологии.

В ряде случаев для сварки неплавящимся электродом сталей рекомендуется использовать защитные газовые смеси, состав и назначение которых приведены в таблице 8.

Таблица 8

Состав и назначение защитных газовых смесей

Состав смеси	Цель применения	Область применения
75% Ar + 25% He	Улучшение формирования шва и увеличение проплавляющей способности дуги	Сплавы всех марок
99% Ar + до 1% O ₂	Повышение стабильности горения дуги на переменном токе	Конструкционные стали
90% Ar + 10% H ₂	Увеличение проплавляющей способности дуги и уменьшение выгорания легирующих элементов	Нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы

4.2.5 Определение вылета электрода

Вылет электрода, мм, при сварке стыковых соединений должен составлять 3 – 5 мм, при сварке тавровых, угловых, нахлесточных соединений – 5 – 8 мм.

4.2.6 Определение массы наплавленного металла

Масса наплавленного металла, г, для аргонодуговой сварки рассчитывается по формуле:

$$G_h = F_h \cdot L \cdot \gamma \quad (16)$$

где L – длина шва, см.

4.2.7 Определение расхода присадочной проволоки

Расход присадочной проволоки, г, если она используется для аргонодуговой сварки, определяют по формуле:

$$G_{\text{пр.п.}} = G_{\text{н}} \cdot k_{\text{пр.п.}} \quad (17)$$

где $k_{\text{пр.п.}}$ – коэффициент, учитывающий потери на разбрзгивание и угар присадочной проволоки при ведении сварочных работ, может быть принят равным 1,01 – 1,02.

4.2.8 Определение расхода защитного газа

Расход защитного газа, л/мин выбирают таким образом, чтобы сохранить ламинарный поток струи газа. Расход защитного газа зависит от вида материала, толщины соединяемых элементов, характера их сопряжения, величины сварочного тока и может колебаться в определенных пределах (таблица 9).

Таблица 9

Зависимость расхода защитного газа для стыкового соединения

Материал	Толщина металла, мм	Сила тока, А	Расход газа, л/мин
Стали	0,8 – 2	70 – 110	8 – 10
	4	120	10 – 12
	6	140	10 – 12
Алюминий и его сплавы	2	70 – 80	5 – 6
	4	160 – 210	7 – 8
	6	260 – 300	10 – 12
Медь и ее сплавы	1,2 – 1,5	120 – 150	7 – 9
	2,5	190 – 230	8 – 10
	3	230 – 240	9 – 12

4.2.9 Определение времени горения дуги и полного времени сварки

Время горения дуги, ч, определяется как

$$t_0 = \frac{G_{\text{н}}}{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}} \quad (18)$$

Полное время сварки, ч, приближенно можно оценить по формуле:

$$T = \frac{t_0}{k_{\text{п}}} \quad (19)$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент использования сварочного поста, который может быть принят равным 0,50 – 0,55.

4.2.10 Определение расхода электроэнергии

Расход электроэнергии, кВт ч, определяют по формуле:

$$A = \frac{U_{\text{д}} \cdot I_{\text{св}}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0(T - t_0) \quad (20)$$

где η – КПД источника питания сварочной дуги (для источников питания постоянного тока может быть принят равным 0,70 – 0,75; для источников питания переменного тока – 0,85 – 0,90);

W_0 – энергия, расходуемая источником питания на холостом ходе (для источников питания постоянного тока может быть принята равной 0,2 – 0,4 кВт; для источников питания переменного тока можно принять равной нулю).

4.3 Расчёт режимов дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа

При сварке плавящимся электродом в среде защитного газа к параметрам режима сварки относятся род и полярность тока, диаметр электродной проволоки, сила сварочного тока, напряжение на дуге, скорость сварки, вылет электрода.

Род и полярность тока. Сварку обычно выполняют на постоянном токе обратной полярности. При прямой полярности скорость расплавления в 1,4 – 1,6 раза выше чем при обратной, однако дуга горит менее стабильно, с интенсивным разбрызгиванием.

4.3.1 Выбор диаметра электродной проволоки

Диаметр электродной проволоки, мм, выбирают в зависимости от толщины свариваемого материала и положения шва в пространстве. Обычно, диаметр электродной проволоки лежит в пределах 0,5 – 2,5 мм (таблица 10). Чем меньше диаметр электродной проволоки, тем устойчивее горение дуги, большее глубина проплавления и коэффициент наплавки, меньше разбрызгивание.

Больший диаметр проволоки требует увеличения сварочного тока.

Таблица 10

Зависимость диаметра электродной проволоки от толщины металла

Толщина листа, мм	0,5 – 1	1 – 2	2 – 4	5 – 8	8 – 12	12 – 18
Диаметр электродной проволоки, мм	0,5 – 0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,2	1,4 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5

4.3.2 Определение силы сварочного тока

Сила сварочного тока, А, рассчитывается по формуле

$$I_{cb} = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot j \quad (21)$$

где j – плотность тока в электродной проволоке, $\text{А}/\text{мм}^2$.

Величина плотности тока в электродной проволоке для обычного режима сварки может колебаться в пределах от 50 до 250 $\text{А}/\text{мм}^2$. При форсированном режиме, величина плотности тока может достигать 250 – 450 $\text{А}/\text{мм}^2$. Возможность применения высокой плотности тока связана с малой длиной вылета электрода (8 – 15 мм) при сварке в среде защитного газа. Длина дуги составляет 1,5 - 4 мм.

С увеличением плотности тока будет возрастать глубина проплавления, при этом количество наплавленного металла возрастает медленнее, чем проплавление и доля электродного металла в металле шва существенно уменьшается.

Рекомендуемые плотности тока для заданных диаметров электродной проволоки приведены в таблице 11.

Таблица 11
Зависимость плотности тока от диаметра электродной проволоки

Диаметр электродной проволоки, мм	0,5	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
Плотность тока, А/мм ²	150 – 250	120 – 240	100 – 200	100 – 200	100 – 190	90 – 180	70 – 150

4.3.3 Определение напряжения на дуге

Напряжение на дуге, В и расход защитного газа, л/мин, при дуговой сварке в среде защитного газа выбирают в зависимости от силы сварочного тока. Зависимость параметров режима сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей от силы сварочного тока приведена в таблице 12.

Таблица 12
Зависимость параметров режима сварки от силы сварочного тока

Сила сварочного тока, А	50 – 90	80 – 120	100 – 180	160 – 220	200 – 280	250 – 320	300 – 450
Напряжение на дуге, В	17 – 18	18 – 20	19 – 22	21 – 26	25 – 28	27 – 30	30 – 36
Расход защитного газа, л/мин	6 – 7	7 – 9	8 – 10	10 – 12	12 – 15	14 – 16	15 – 20

В качестве защитной среды для данного способа сварки, наибольшее применение в современном сварочном производстве нашли смеси аргона и углекислого газа в различных пропорциях. Такие смеси имеют определенные преимущества перед активными газами и их смесями и перед инертными газами. Характеристики смесей и рекомендации по их применению приведены в таблице 13.

Таблица 13

Газовые смеси аргона и углекислого газа и рекомендации по их применению

Смесь	Применение
98% Ar + 2% CO ₂	Применяется для сварки изделий из хромоникелевых сталей, изделий из конструкционных сталей малой толщины (до 1 мм), а также сварки – пайки оцинкованных изделий
90% Ar + 10% CO ₂	Применяется для сварки изделий из низко- и среднелегированных сталей, сварки на повышенных скоростях, импульсной сварки
82% Ar + 18% CO ₂	Применяется для сварки изделий из конструкционных сталей, наплавке высокопрочных сталей
80% Ar + 20% CO ₂	Применяется для сварки и наплавки изделий из конструкционных сталей, сварки хромоникелевых сталей порошковой проволокой
75% Ar + 25% CO ₂	Применяется для сварки и наплавки изделий из конструкционных сталей, сварки трубопроводов, сварки швов в любых пространственных положениях. Смесь отличает высокая проплавляющая способность при минимальном разбрызгивании металла

4.3.4 Определение скорости подачи электродной проволоки

Скорость подачи электродной проволоки, м/ч, рассчитывают по формуле:

$$V_{\text{эл.п.}} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{\text{cb}}}{\pi \cdot d_{\text{эл.}}^2 \cdot \gamma} \quad (22)$$

где α_p – коэффициент расплавления проволоки, г/(А ч);

γ – плотность металла, г/см³.

Величина коэффициента расплавления проволоки может быть определена по формуле:

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \frac{I_{\text{cb}}}{d_{\text{эл}}} \quad (23)$$

4.3.5 Определение скорости сварки

Скорость сварки, м/ч, определяют по формуле:

$$V_{\text{cb}} = \frac{\alpha_h \cdot I_{\text{cb}}}{\gamma \cdot F_h \cdot 100} \quad (24)$$

где α_h – коэффициент наплавки, г/(А ч), может быть определен как

$$\alpha_h = \alpha_p \cdot (1 - \psi) \quad (25)$$

где ψ – коэффициент потерь металла на угар и разбрызгивание; для рекомендованных смесей (таблица 13), может быть принят равным – 0,05 – 0,08.

4.3.6 Определение массы наплавленного металла

Масса наплавленного металла, г, рассчитывается по формуле:

$$G_h = F_h \cdot L \cdot \gamma \quad (26)$$

где L – длина шва, см; F_h - площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см² (таблица 4).

4.3.7 Определение расхода электродной проволоки

Расход электродной проволоки, г, определяют по формуле:

$$G_{\text{эл.п.}} = G_{\text{H}} \cdot (1 + \psi) \quad (27)$$

4.3.8 Определение времени горения дуги и полного времени сварки

Время горения дуги, ч, определяется как

$$t_0 = \frac{G_{\text{H}}}{\alpha_{\text{H}} \cdot I_{\text{св}}} \quad (28)$$

Полное время сварки, ч, приближенно можно оценить по формуле:

$$T = \frac{t_0}{k_{\text{п}}} \quad (29)$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент использования сварочного поста, который может быть принят равным 0,57 – 0,6.

4.3.9 Определение расхода электроэнергии

Расход электроэнергии, кВт ч, определяют по формуле:

$$A = \frac{U_{\text{д}} \cdot I_{\text{св}}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0(T - t_0) \quad (30)$$

где η – КПД источника питания сварочной дуги (для источников питания постоянного тока может быть принят равным 0,70 – 0,75; для источников питания переменного тока – 0,85 – 0,90);

W_0 – энергия, расходуемая источником питания на холостом ходе (для источников питания постоянного тока может быть принята равной 0,2 – 0,4 кВт; для источников питания переменного тока можно принять равной нулю).

4.4 Расчёт режимов дуговой сварки порошковой проволокой

При дуговой сварке порошковой проволокой к параметрам режима сварки относятся род и полярность тока, диаметр электродной проволоки, сила сварочного тока, напряжение на дуге, скорость сварки, вылет электрода.

Следует отметить, что порошковые проволоки применяются для сварки без защиты и с дополнительной защитой зоны дуги газом или флюсом. Проволоки, не требующие дополнительной защиты, называются самозащитными.

Род и полярность тока. Дуговую сварку порошковой проволокой обычно выполняют на постоянном токе обратной полярности.

4.4.1 Выбор диаметра электродной проволоки

Диаметр электродных проволок, мм, разработанных в ИЭС им. Е.О. Патона лежит в пределах 1,2 – 4,5 мм. Большинство марок порошковых проволок имеют один, два иногда три варианта диаметра. Выбирают диаметр электродной проволоки, определившись с ее

назначением, в зависимости от толщины свариваемого материала и положения шва в пространстве.

4.4.2 Определение силы сварочного тока

Сила сварочного тока, А, и другие параметры режима сварки определяются по рекомендации организации - разработчика порошковой проволоки – ИЭС им. Е.О. Патона (таблица 14).

Таблица 14

Параметры режима сварки некоторыми порошковыми проволоками

Марка порошковой проволоки	Диаметр, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Вылет электрода, мм
ПП-1ДСК	2,4	180 – 320	24 – 32	15 – 40
ПП-АН1	2,8	220 – 320	26 – 31	15 – 40
ПП-АН3	2,8	250 – 450	22 – 29	20 – 50
	3,0	350 – 500	24 – 31	30 – 60
ПП-АН7	2,0	150 – 300	20 – 26	15 – 40
	2,3	250 – 340	23 – 28	20 – 50
ПП-АН11	2,0	140 – 280	20 – 26	15 – 45
	2,4	240 – 340	23 – 30	20 – 50

Величина плотности тока в порошковой электродной проволоке может колебаться в пределах от 25 до 160 А/мм².

4.4.3 Определение скорости подачи электродной проволоки

Скорость подачи электродной проволоки, м/ч, рассчитывают по формуле:

$$V_{\text{эл.п.}} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{эл.}}^2 \cdot \gamma} \quad (31)$$

где α_p – коэффициент расплавления проволоки, г/(А ч);

γ – плотность металла, г/см³.

Величина коэффициента расплавления проволоки может быть определена по формуле:

$$\alpha_p = \alpha_n \cdot k_{\text{п.п.}} \quad (32)$$

где $k_{\text{п.п.}}$ – коэффициент расхода порошковой проволоки (таблица 15), учитывающий ряд обстоятельств:

- порошковая проволока имеет частично неметаллический наполнитель, известно, что коэффициент заполнения порошковой проволоки лежит в пределах 10 – 40 %, поэтому действительная ее плотность оказывается на 10 – 15% меньше по сравнению с проволокой сплошного сечения;
- потери на разбрзгивание металла порошковой проволоки составляют 2 – 7 % в зависимости от марки проволоки и режима сварки;

- угар металла в процессе сварки.

Таблица 15

Технологические параметры некоторых порошковых проволок

Марка порошковой проволоки	Коэффициент наплавки, г/(А·ч)	Коэффициент расхода порошковой проволоки
ПП-1ДСК	15,6 – 16,7	1,3 – 1,35
ПП-АН1	13,6 – 15,6	1,3 – 1,35
ПП-АН3	14,3 – 20,0	1,27 – 1,3
ПП-АН7	20,6 – 26,6	1,25 – 1,3
ПП-АН11	20,6 – 21,4	1,25 – 1,3

4.4.4 Определение скорости сварки

Скорость сварки, м/ч, определяют по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_h \cdot I_{\text{св}}}{\gamma \cdot F_h \cdot 100} \quad (33)$$

где α_h – коэффициент наплавки, г/(А·ч) (таблица 15)

4.4.5 Определение массы наплавленного металла

Масса наплавленного металла, г, рассчитывается по формуле:

$$G_h = F_h \cdot L \cdot \gamma \quad (34)$$

где L – длина шва, см; F_h – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см² (таблица 4).

4.4.6 Определение расхода электродной проволоки

Расход электродной проволоки, г, определяют по формуле:

$$G_{\text{эл.п.}} = G_h \cdot k_{\text{пп.}} \quad (35)$$

4.4.7 Определение времени горения дуги и полного времени сварки

Время горения дуги, ч, определяется как

$$t_0 = \frac{G_h}{\alpha_h \cdot I_{\text{св}}} \quad (36)$$

Полное время сварки, ч, приближенно можно оценить по формуле:

$$T = \frac{t_0}{k_{\text{пп}}} \quad (37)$$

где $k_{\text{пп}}$ – коэффициент использования сварочного поста, который может быть принят равным 0,57 – 0,6.

4.4.8 Определение расхода электроэнергии

Расход электроэнергии, кВт·ч, определяют по формуле:

$$A = \frac{U_d \cdot I_{\text{св}}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0(T - t_0) \quad (38)$$

где η – КПД источника питания сварочной дуги (для источников питания постоянного тока может быть принят равным 0,70 – 0,75; для источников питания переменного тока – 0,85 – 0,90);

W_0 – энергия, расходуемая источником питания на холостом ходе (для источников питания постоянного тока может быть принята равной 0,2 – 0,4 кВт; для источников питания переменного тока можно принять равной нулю).

4.5 Расчёт режимов дуговой сварки под флюсом

При дуговой сварке под слоем флюса к параметрам режима сварки относятся род и полярность тока, диаметр электродной проволоки, сила сварочного тока, напряжение на дуге, скорость сварки, скорость подачи электродной проволоки.

Род и полярность тока влияют на форму и размеры шва. При сварке на постоянном токе обратной полярности глубина провара примерно на 40 % больше, чем при сварке на прямой полярности. При сварке на переменном токе глубина провара на 15 – 20 % ниже, чем при сварке на постоянном токе обратной полярности. Это объясняется формой столба дуги. Анодное пятно занимает большую площадь по сравнению с катодным, поэтому ширина ванны на прямой полярности возрастает.

Род и полярность тока заметно влияют на скорость плавления электродной проволоки. При сварке на одинаковых токах скорость плавления на обратной полярности ниже на 20 – 30 %, чем на прямой, поэтому при сварке на постоянном токе стыковых соединений без скоса кромок и угловых соединений с малым катетом, следует применять ток обратной полярности. При работах, связанных с необходимостью наплавления большого количества металла, целесообразно использовать ток прямой полярности. Для сварки на токах выше 300 – 400 А по экономическим соображениям следует применять переменный ток.

4.5.1 Выбор диаметра электрода

Диаметр электродной проволоки, мм, лежит в пределах 0,8 – 6 мм, причем для полуавтоматического процесса используются проволоки диаметром 0,8 – 2 мм, а для автоматического – 1 – 6 мм. Диаметр электродной проволоки оказывает большое влияние на размер и форму сварного шва. Уменьшение диаметра проволоки при заданной величине сварочного тока приводит к уменьшению подвижности столба дуги и, как следствие, к увеличению глубины провара и уменьшению ширины шва. Особенно это влияние при сварке на небольших токах.

Таким образом, заданная глубина провара может быть достигнута при меньшем токе снижением диаметра электрода. Однако использование этого явления не всегда возможно, так как применение электрода малого диаметра приводит к ухудшению формирования шва за счет

уменьшения ширины провара и затруднения точного направления электрода по шву из-за малой его жесткости.

Электродную проволоку малого диаметра при сварке на токах повышенной плотности следует применять для получения узкого шва с глубоким проплавлением, а электроды большего диаметра при сварке на токе пониженной плотности – для получения широкого шва с небольшим проплавлением основного металла (например, наплавочные работы).

Значение диаметра электродной проволоки должно учитывать возможные плотности сварочного тока, которые могут колебаться в пределах от 35 до 300 А/мм². Возможность применения высокой плотности тока связана с длиной вылета электрода, не превышающей 70 мм. Примерные значения диаметров приведены в таблице 1.

4.5.2 Определение силы сварочного тока

Сила сварочного тока, А, рассчитывается исходя из требуемой глубины проплавления основного металла по формуле:

$$I_{\text{св}} = \frac{h_{\text{пр}}}{k_h} \cdot 100 \quad (39)$$

где $h_{\text{пр}}$ – требуемая глубина проплавления основного металла, мм;

k_h – эмпирический коэффициент, зависящий от условий сварки, мм/А (таблица 16).

Таблица 16

Значения эмпирического коэффициента k_h

Марка флюса	Диаметр электродной проволоки, мм	Коэффициент k_h , мм/А		
		Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
ОСЦ-45	2	1,30	1,15	1,45
	3	1,15	0,95	1,30
	4	1,05	0,85	1,15
	5	0,95	0,75	1,10
	6	0,90	-	-
АН-348А	2	1,25	1,15	1,40
	3	1,10	0,95	1,25
	4	1,00	0,90	1,10
	5	0,95	0,85	1,05
	6	0,90	-	-

Рекомендуемые значения плотности тока и силы тока для заданных диаметров электродной проволоки приведены в таблице 17.

4.5.3 Определение напряжения на дуге

Напряжение на дуге, В оказывает незначительное влияние на глубину провара, при этом ширина шва связана с напряжением на дуге прямой зависимостью. Ориентировочная зависимость силы сварочного тока и напряжения на дуге представлена в таблице 18.

Таблица 17

Зависимость плотности и силы тока от диаметра электродной проволоки

Диаметр электродной проволоки, мм	0,8	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Плотность тока, А/мм ²	200 – 300	190 – 250	63 – 125	50 – 85	40 – 63	35 – 50	35 – 70
Сила тока, А	100 – 150	150 – 200	200 – 400	350 – 600	500 – 800	700 – 1000	1000 – 2000

Таблица 18

Зависимость силы сварочного тока и напряжения на дуге

Сила тока, А	100 – 150	150 – 200	200 – 400	350 – 600	500 – 800	700 – 1000	1000 – 2000
Напряжение на дуге, В	22 – 23	23 – 24	24 – 28	27 – 32	30 – 36	35 – 44	44 – 55

Уточнить величину напряжения на дуге можно используя формулу:

$$U_d = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{эл}}} \cdot I_{св} \quad (40)$$

При слишком низком напряжении дуга горит нестабильно, поверхность шва получается не ровной, бугристой. С повышением напряжения формирование шва улучшается: он становится более широким и ровным с незначительным усилением. При чрезмерном увеличении напряжения дуги стабильность горения снижается, ширина провара может уменьшаться с ухудшением формирования шва. Для обеспечения правильного формирования шва с уменьшением диаметра электродной проволоки и увеличением плотности тока необходимо повышать напряжение дуги.

При сварке на постоянном токе требуется более низкое напряжение на обратной полярности, чем на прямой. Необходимость более низкого напряжения при обратной полярности тока объясняется меньшей подвижностью дуги.

4.5.4 Определение скорости подачи электродной проволоки

Скорость подачи электродной проволоки, м/ч, рассчитывают по формуле:

$$V_{эл.п.} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma} \quad (41)$$

где α_p – коэффициент расплавления проволоки, г/(А ч);

γ – плотность металла, г/см³.

Величина коэффициента расплавления проволоки может быть определена по формулам:

- для переменного тока

$$\alpha_p = 7,0 + 0,04 \frac{I_{cb}}{d_{el}} \quad (42)$$

- для постоянного тока прямой полярности

$$\alpha_p = 2,0 + \sqrt{\frac{I_{cb}}{d_{el}}} \quad (43)$$

- для постоянного тока обратной полярности

$$\alpha_p = 10,0 - 12,0 \text{ г/(A·ч)} \quad (44)$$

4.5.5 Определение скорости сварки

Скорость сварки, м/ч, определяют по формуле:

$$V_{cb} = \frac{\alpha_h \cdot I_{cb}}{\gamma \cdot F_h \cdot 100} \quad (45)$$

где α_h – коэффициент наплавки, г/(А·ч), определяемый как

$$\alpha_h = \alpha_p \cdot (1 - \psi) \quad (46)$$

где ψ – коэффициент потерь металла на угар и разбрызгивание может быть принят равным – 0,02 – 0,03.

4.5.6 Определение массы наплавленного металла

Масса наплавленного металла, г, рассчитывается по формуле:

$$G_h = F_h \cdot L \cdot \gamma \quad (47)$$

где L – длина шва, см;

F_h – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см² (таблица 4).

4.5.7 Определение расхода электродной проволоки и флюса

Расход электродной проволоки, г, определяют по формуле:

$$G_{el.p.} = G_h \cdot (1 + \psi) \quad (48)$$

Расход флюса, г/пог. м., определяют по формуле:

$$G_{fl.} = \frac{(U_d - 1,8) \cdot 780}{V_{cb}} \quad (49)$$

4.5.8 Определение времени горения дуги и полного времени сварки

Время горения дуги, ч, определяется как

$$t_0 = \frac{G_h}{\alpha_h \cdot I_{cb}} \quad (50)$$

Полное время сварки, ч, приближенно можно оценить по формуле:

$$T = \frac{t_0}{k_{\pi}} \quad (51)$$

где k_{π} – коэффициент использования сварочного поста, который может быть принят равным 0,6 – 0,7.

4.5.9 Определение расхода электроэнергии

Расход электроэнергии, кВт ч, определяют по формуле:

$$A = \frac{U_d \cdot I_{cb}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0(T - t_0) \quad (52)$$

где η – КПД источника питания сварочной дуги (для источников питания постоянного тока может быть принят равным 0,70 – 0,75; для источников питания переменного тока – 0,85 – 0,90);

W_0 – энергия, расходуемая источником питания на холостом ходе (для источников питания постоянного тока может быть принята равной 0,2 – 0,4 кВт; для источников питания переменного тока можно принять равной нулю).

4.6 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии

Химический состав стали определяется по справочнику. Если не удается найти в справочнике свою сталь, допускается определять ее химический состав по марке. Для обозначения легирующих элементов используются следующие буквы: Б – ниобий (Nb), В – вольфрам (W), Г – марганец (Mn), Д – медь (Cu), М – молибден (Mo), Н – никель (Ni), С – кремний (Si), Т – титан (Ti), Ф – ванадий (V), Х – хром (Cr), Ю – алюминий (Al). Определение структуры стали осуществляется по диаграмме Шеффлера (рисунок 1). Для основного металла первоначально рассчитываются эквивалентные значения хрома и никеля по формулам:

$$\text{ЭквCr} = \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 0,5 \% \text{ Nb} + 1,5 \% \text{ Si} \quad (53)$$

$$\text{ЭквNi} = \% \text{ Ni} + 30 \% \text{ C} + 30 \% \text{ N} + 0,5 \% \text{ Mn} \quad (54)$$

По значениям ЭквCr и ЭквNi на диаграмме Шеффлера наносится точка, соответствующая структуре стали. Она попадает в зоны: А – сталь аустенитного класса; Ф – сталь ферритного класса; М – сталь мартенситного класса; А+Ф – сталь аустенитно-ферритного класса.

Если по диаграмме Шеффлера сталь попала в область А+Ф с содержанием феррита до 10 %, технологию ее сварки следует описывать как технологию сварки аустенитных сталей.

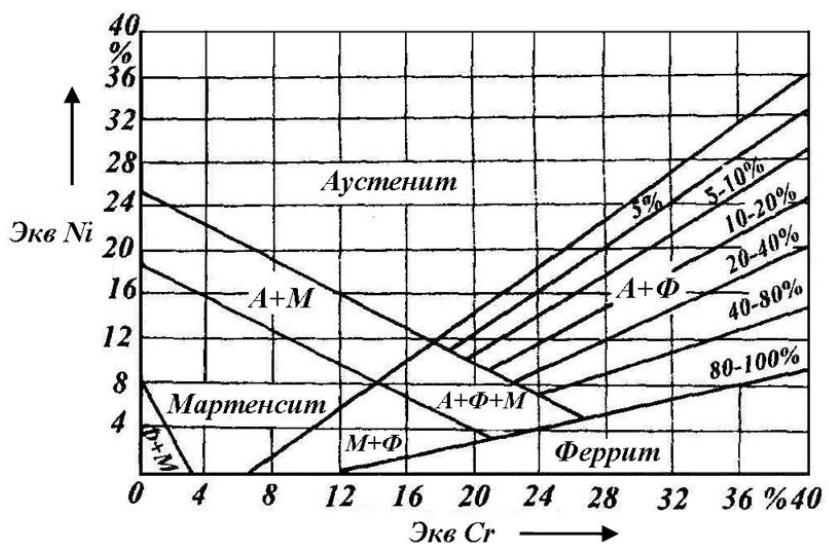


Рисунок 1 – Диаграмма Шеффлера

4.7 Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса

Для описания технологии сварки слушателям достаточно найти описание технологии сварки сталей, которые относятся к одному структурному классу со сталью, указанной в задании.

При описании технологии необходимо первоначально остановиться на трудностях, которые встречаются при сварке данной группы сталей, затем раскрыть основные направления преодоления этих трудностей. Далее следует изложить особенности сварки стали выбранным способом.

4.8 Выбор сварочного оборудования

Сварочное оборудование выбирается в зависимости от заданного способа сварки по расчетным режимам сварки, основным из которых является сила сварочного тока. Подбирая источник питания, необходимо стремиться к выбору аппарата с диапазоном сварочного тока, наиболее близким к расчетному. Не следует отдавать предпочтение источникам питания с максимальным значением силы тока, значительно превышающим расчетное, т. к. это приводит к увеличению расхода электроэнергии. Ориентировочно можно разбить источники питания по трем группам: 150–200; 300–500; свыше 500 А.

Немаловажным фактором являются и условия проведения сварочных работ (в цеху, на монтаже). Данный фактор оказывает влияние на требования к габаритным размерам и массе выбираемого оборудования.

4.9 Оформление операционно-технологической карты сборки и сварки

Требования к заполнению и оформлению технологических документов на процессы и операции по сварке устанавливаются СТО НОСТРОЙ 2.10.64-2012, а также ГОСТ 3.1407 - 86. Слушателю необходимо разработать операционную карту на технологический процесс сборки и сварки изделия. Форма технологической карты сварки смотреть в «Приложение А» СТО НОСТРОЙ 2.10.64-2012.

Список использованных источников и литературы

1. Дедюх Р.И. Технология сварки плавлением. Часть II: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 170 с.
2. Марочник сталей и сплавов / М.М.Колосков и др. - М.: Машиностроение, 2001. 572с.
3. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Машиностроение, 2003. 560 с.
4. Технология сварки плавлением и термической резки / под ред. В. А. Фролова. М.: Альфа-М, Инфра М, 2011. 445 с.
5. Трущенко Е.А. Сварочные материалы: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 143 с.
6. Хромченко Ф.А. Справочное пособие электросварщика. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2005. 416 с.
7. ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений
8. ГОСТ 2246-70 Проволока стальная сварочная. Технические условия
9. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
10. ГОСТ 8713-79 Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
11. ГОСТ 9466-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия
12. ГОСТ 9467-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы
13. ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
14. ГОСТ 23949-80 Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия
15. СТО НОСТРОЙ 2.10.64-2012 Сварочные работы. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ