ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология
сварочного производства»

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов специальности 1–36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»

Могилев 2010

УДК 621.791
ББК 30.61
Т 38

Рекомендовано к опубликованию
учебно-методическим управлением
ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» « 18 » мая 2010 г., протокол № 11

Составители: д-р техн. наук, проф. В. П. Куликов;
канд. техн. наук, ст. преподаватель Т. И. Бендик

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. И. Якубович

Методические указания предназначены для выполнения курсовой работы по дисциплине «Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки» студентами специальности 1–36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства».

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ
И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Ответственный за выпуск В. П. Куликов

Технический редактор А. А. Подошевко

Компьютерная верстка И.А. Алексеюс

Подписано в печать . Формат 60x84 /16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл.-печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 99 экз. Заказ № ____.

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
ЛИ № 02330/375 от 29.06.2004 г.
212000, г. Могилев, пр.Мира, 43

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2010

Содержание

1 Цели и задачи курсовой работы 4
2 Тематика курсовых работ 4
3 Содержание расчетно-пояснительной записки 4
4 Методика выполнения курсовой работы 5
4.1 Разработка конструкции сварной сборочной единицы 5
4.2 Выбор способа сварки и типа сварных швов 6
4.3 Расчет параметров режима сварки 8
4.4 Расчет норм времени на выполнение сварочных операций 12
5 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии 14
6 Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса 15
7 Выбор сварочных материалов 15
8 Расчет расхода сварочных материалов 16
9 Расчет химического состава шва и определение его структуры 17
10 Выбор сварочного оборудования 18
11 Оформление операционной карты 19
Список литературы 20
Приложение А 21

1 Цели и задачи курсовой работы

Основной целью курсовой работы является приобретение студентами навыков по практическому применению теоретических знаний, полученных при изучении курса «Технология сварки плавлением и термической резки».

При выполнении курсовой работы студенты должны осуществить выбор экономически целесообразного способа сварки, типа соединения, сварочных материалов, рассчитать технологические параметры режима и нормы времени, подобрать сварочное оборудование и оснастку, при необходимости дать рекомендации по термической обработке изделий, разработать операционную карту.

2 Тематика курсовых работ

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

Индивидуальное задание студенту выдается преподавателем в виде чертежа литого изделия с указанием марки свариваемого металла, годовой программы выпуска, а также внешних нагрузок, прикладываемых к изделию.

Данное литое изделие требуется заменить на сварную конструкцию, разбив его на составные части с учетом обеспечения технологичности сварных соединений.

3 Содержание расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка должна включать в себя следующие разделы.

Индивидуальное задание.

Введение.

1 Разработка конструкции сварной сборочной единицы.

2 Выбор способа сварки и типа сварных швов.

3 Расчет параметров режима сварки.

4 Расчет норм времени на выполнение сварочных операций.

5 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии.

6 Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса.

7 Выбор сварочных материалов.

8 Расчет расхода сварочных материалов.

9 Расчет химического состава шва и определение его структуры.

10 Выбор сварочного оборудования.

11 Расчет расхода электроэнергии.

Заключение.

Список литературы.

Приложение А. Чертеж сборочной единицы с обозначением сварных швов.

Приложение Б. Спецификация к сборочному чертежу.

Приложение В. Карта техпроцесса.

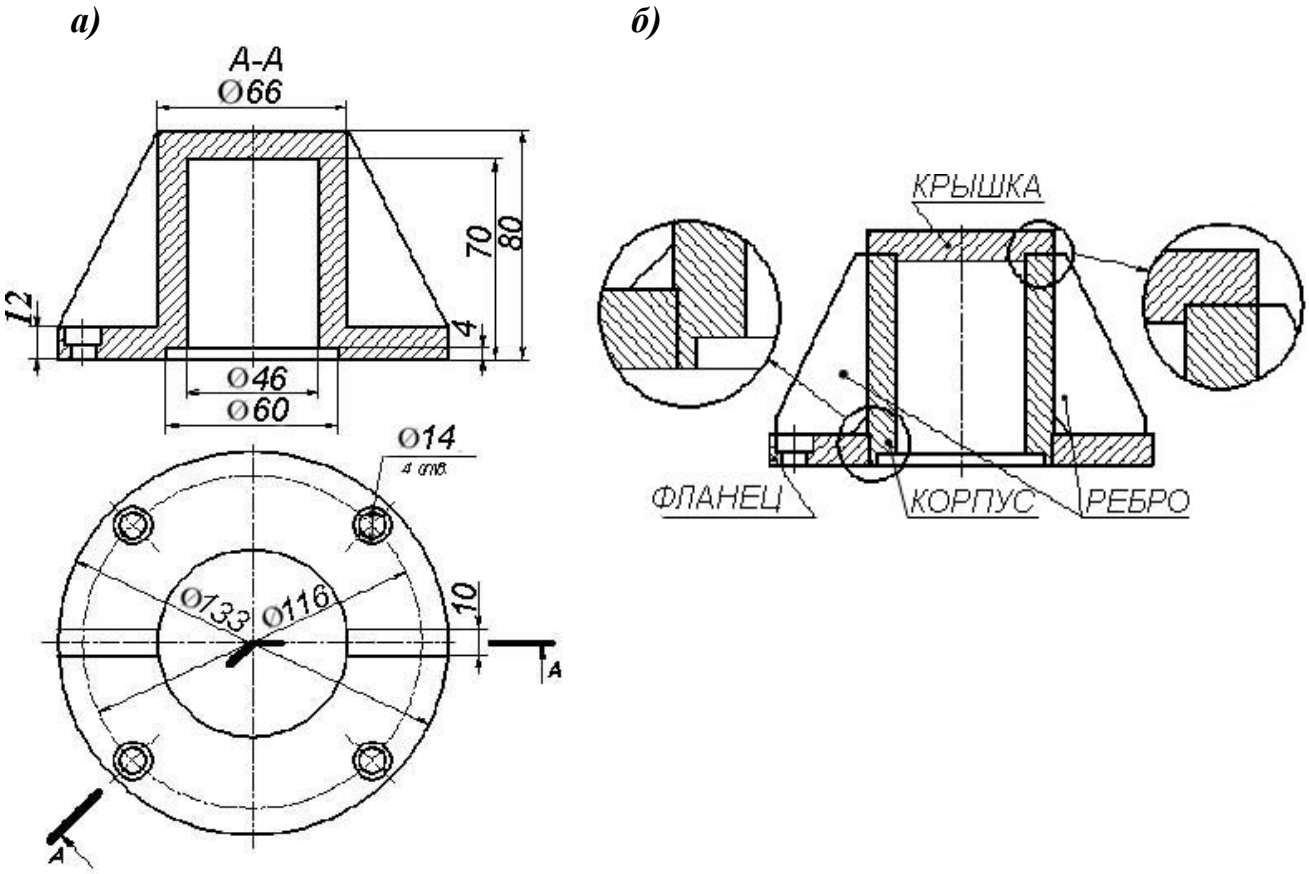
Курсовая работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки на листах формата А4.

4 Методика выполнения курсовой работы

4.1 Разработка конструкции сварной сборочной единицы

После получения индивидуального задания в виде чертежа литой детали (рисунок 1, а) студент должен разработать конструкцию сварной сборочной единицы взамен предложенной детали. При разбиении необходимо соблюдать рекомендации по обеспечению технологичности подготовки деталей под сборку и сварку, а также оптимизации конструкции сварного соединения.

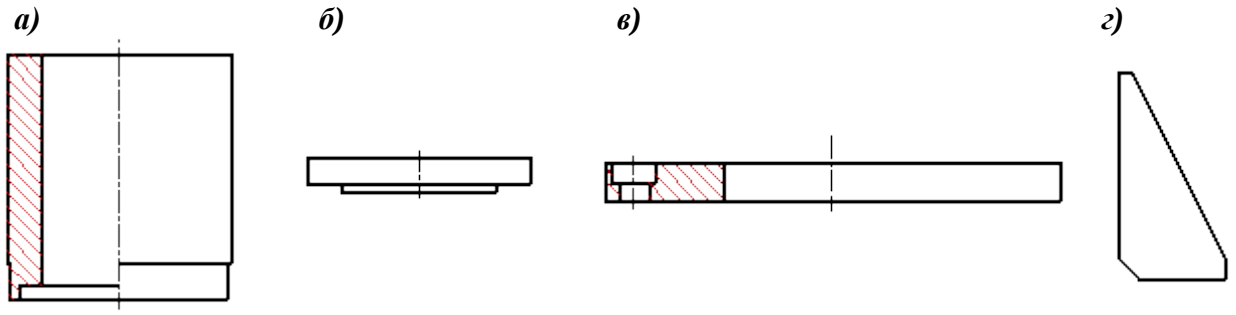
В рассматриваемом примере предложено выполнить сварную сборочную единицу, состоящую из пяти деталей (рисунок 1, б).



а – исходный чертеж детали; б – разбиение литой детали

Рисунок 1 – Пример разработки сварной конструкции

В пояснительной записке студент должен представить эскизы деталей, входящих в сборочную единицу (рисунок 2).

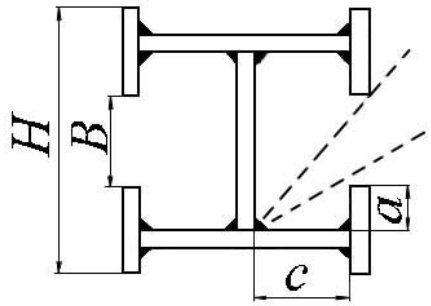
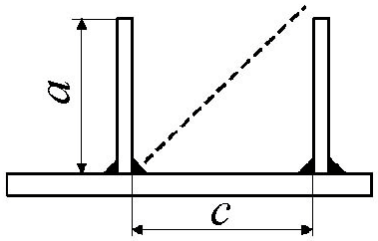
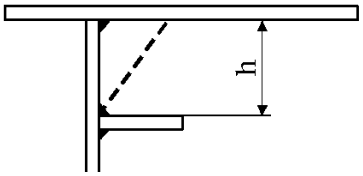


а – корпус (1 шт.); б – крышка (1 шт.); в – фланец (1 шт.); г – ребро (2 шт.)

Рисунок 2 – Эскизы деталей, входящих в сварную сборочную единицу

Далее требуется проверить доступность сварных швов в наиболее сложных узлах разработанной сборочной единицы, соблюдая при этом рекомендации, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Доступность мест наложения швов

Эскиз	Требования
	$B \geq H - 2c$
	При $c \leq 400$ мм $a \leq 2c$ мм; при $c > 400$ мм $a \leq 600$ мм
	Сварка возможна при $h \geq 250$ мм

4.2 Выбор способа сварки и типа сварных швов

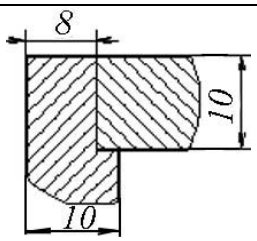
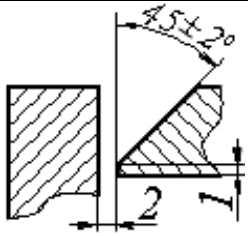
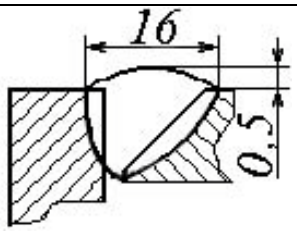
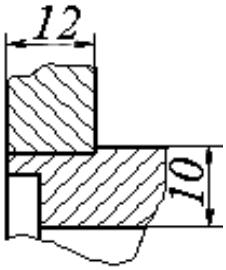
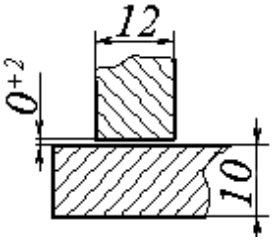
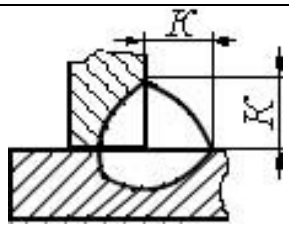
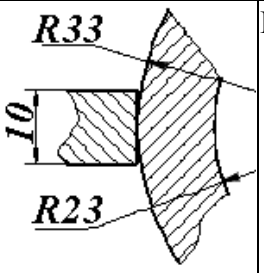
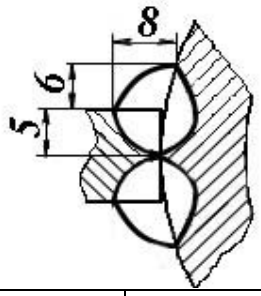
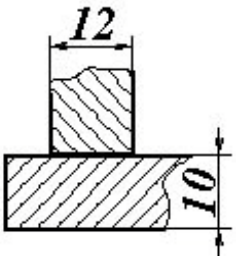
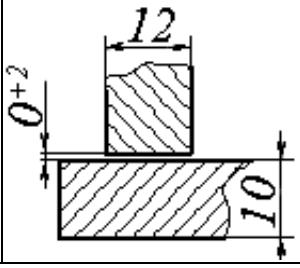
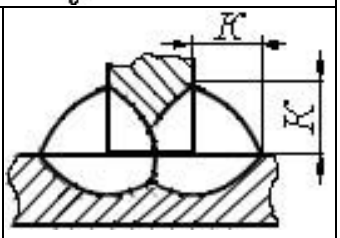
Выбор рационального способа сварки студентом осуществляется на основании заданного типа производства (единичное, серийное, массовое) и конструктивных особенностей свариваемого изделия. В условиях единичного произ-

водства возможно применение ручной дуговой сварки (РДС), при увеличении серийности программы выпуска – рационально использование механизированной и автоматической сварки.

После выбора способа сварки требуется определить тип сварных соединений по соответствующему стандарту на типы и конструктивные элементы сварных соединений (для РДС – ГОСТ 5264–80 или 11534–75; для сварки в среде защитных газов – ГОСТ 14771–76 или 23518–79; для сварки под флюсом – ГОСТ 8713-79 или 11533-75; для сварки стальных трубопроводов – ГОСТ 16037–80). При этом необходимо отталкиваться от толщины свариваемых деталей и месторасположения швов.

Студентом составляется сводная таблица, содержащая эскизы сварных швов с указанием их конструктивных элементов и размеров, как швов, так и свариваемых деталей (таблица 2).

Таблица 2 – Эскизы сварных швов сборочной единицы

Соединяемая деталь	Место соединения	Тип шва	Конструктивные элементы по ГОСТ 5264–80	
			подготовленных кромок деталей	сварного шва
Корпус и крышка		У6		
Корпус и фланец		Т1		
Ребро и корпус		Нестандартный шов		
Ребро и фланец		Т3		

При наличии в задании усилий, действующих на свариваемые детали, катет шва необходимо рассчитать по формуле

$$K = \frac{N}{\beta[\tau]L_{Ш}}, \qquad (1)$$

где N – усилие, действующее на деталь, Н;

[τ] – допускаемое напряжение, [τ] = 80–90 МПа;

β – коэффициент формы шва (β = 0,7 – для РДС; β = 0,8 – для механизированной сварки; β = 0,9 – для автоматической сварки);

$L_{Ш}$ – длина шва, м.

В пояснительной записке необходимо привести сборочный чертеж изделия с указанием всех сварных швов, а также спецификацию к нему. Сварные швы следует обозначать в тех местах, где видна их протяженность. Обозначение сварных швов на разрезах не допускается, за исключением нестандартных швов (в случае необходимости, можно представить еще один главный вид сборочной единицы).

4.3 Расчет параметров режима сварки

Расчет параметров режима сварки ведется в зависимости от заданного способа сварки. Основными параметрами режима являются: сила сварочного тока $I_{СВ}$, напряжение на дуге U_2, скорость подачи сварочной проволоки $V_{П.ПР.}$, диаметр электрода или проволоки $d_Э$, скорость сварки $V_{СВ}$.

Первоначально следует задаться диаметром проволоки или электрода $d_Э$. Его значение зависит 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 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 3.

Для сварных швов, выполняемых с разделкой кромок, необходимо определить требуемое число проходов с целью обеспечения оптимального формирования сварного шва. Определение числа проходов осуществляется по следующей зависимости:

$$n = \frac{F_Н - F_1}{F_П} + 1, \qquad (2)$$

где $F_Н$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла, мм^2;

F_1 – площадь поперечного сечения металла, наплавляемого за один проход при проварке корня шва (первый проход), $F_1 = (6–8)d_Э$;

$F_П$ – площадь поперечного сечения металла последующих проходов, $F_П = (8–12)d_Э$.

Таблица 3 — Выбор диаметров электродов и сварочных проволок

Способ сварки	Глубина проплавления $H_{ПР}$, мм			
	2	3—5	5—10	10—20
Диаметр электрода (проволоки) $d_Э$, мм				
Ручная сварка покрытыми электродами	2,5	3,0; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0
Механизированная в CO_2	0,8; 1,0	1,2	1,2; 1,6	1,6
Автоматическая в CO_2	1,0	1,2; 1,6; 2,0	1,6; 2,0	3,0; 4,0
Автоматическая под флюсом	–	2,0; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0

Площадь наплавленного металла $F_Н$ зависит от типа сварного соединения. Для угловых швов (рисунок 3, а) она определяется как площадь треугольника, умноженная на коэффициент *a*, учитывающий форму шва (для выпуклых швов a = 1,2; для вогнутых a = 0,9):

$$F_Н = \frac{K^2}{2} a \sin\alpha, \qquad (3)$$

где α – угол, под которым свариваются детали.

Площадь наплавленного металла стыкового шва определяется площадями геометрических фигур, которые заполняются электродным металлом при сварке. Для шва, выполненного без разделки кромок, площадь наплавленного металла состоит из площади зазора между деталями $F_З$ и площади валика шва $F_В$ (рисунок 3, б):

$$F_Н = F_З + F_В = b \cdot H_{ПР} + \frac{3}{4} eg, \qquad (4)$$

где b – зазор между деталями, мм;
e – ширина шва, мм;
g – выпуклость шва, мм.

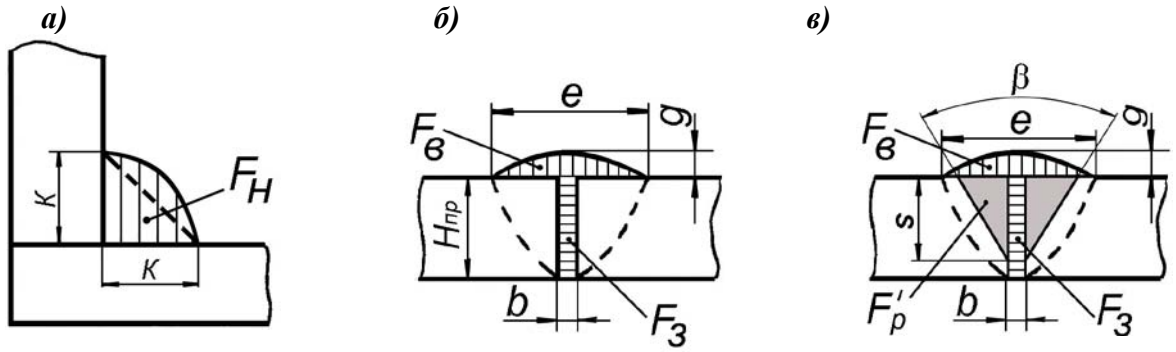
При наличии разделки кромок площадь наплавленного металла (рисунок 3, в)

$$F_Н = F_З + F_В + F_Р. \qquad (5)$$

При V-образной разделке $F_р$ состоит из площади двух прямоугольных треугольников:

$$F_Р = 2F_Р^{/} = S^2 \cdot tg\frac{\beta}{2}, \qquad (6)$$

где β – угол разделки кромок (см. рисунок 3, в).



а – угловой шов; б – стыковой шов без разделки кромок; в – стыковой шов с разделкой кромок

Рисунок 3 – Определение площади наплавленного металла

Для сварки под флюсом и в среде углекислого газа силу сварочного тока можно определить по формуле

$$I_{СВ} = \frac{H_{ПР}}{k_П} \cdot 100 \qquad (7)$$

где $k_П$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки. Его определяют по таблице 4.

Таблица 4 – Значения коэффициента $k_П$

Способ сварки	Диаметр электродной проволоки, мм	Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
Под флюсом	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	—	—
В среде углекислого газа	1,2	—	—	1,75
	1,6	—	—	1,55
	2,0	—	—	1,45
	3,0	—	—	1,35
	4,0	—	—	1,20

После вычисления силы сварочного тока уточняют диаметр проволоки по формуле

$$d_Э = 1{,}13\sqrt{\frac{I_{СВ}}{j}}, \qquad (8)$$

где j – допустимая плотность тока, А/мм^2 (таблица 5).

Таблица 5 – Значение плотностей тока при автоматической и механизированной сварке

Диаметр проволоки, мм	< 2	2	3	4	5
j, А/мм^2	90—200	60—120	45—90	35—60	30—50

Для ручной дуговой сварки силу сварочного тока выбирают в зависимости от диаметра электрода по формуле

$$I_{СВ} = \frac{\pi d_Э^2}{4} \cdot j. \qquad (9)$$

Плотность тока можно найти в таблице 6.

Таблица 6 – Значения плотностей тока при ручной сварке

Вид покрытия электрода	Допускаемая плотность тока в электроде, А/мм^2, при $d_э$, мм			
	3	4	5	6
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

Напряжение на дуге устанавливают в зависимости от способа сварки, а также от марки и диаметра электрода. Для ручной дуговой сварки $U_2 = 20 + 0{,}04 \cdot I_{св}$ (ГОСТ 95–77), для сварки под флюсом на токах до 1000 А $U_2 = 19 + 0{,}037 \cdot I_{св}$ (ГОСТ 7012–77), для сварки в CO_2 $U_2 = 20 + \frac{0{,}05}{\sqrt{d_Э}} I_{СВ} \pm 1$.

Скорость сварки $V_{СВ}$, м/ч, вычисляют по формуле

$$V_{СВ} = \frac{\alpha_Н \cdot I_{СВ}}{\gamma \cdot F_Н \cdot 100}, \qquad (10)$$

где $\alpha_Н$ – коэффициент наплавки, г/(А·ч);

$I_{СВ}$ – сила сварочного тока, А;

γ – плотность металла, γ = 7,8 г/см^3;

$F_Н$ – площадь поперечного сечения наплавленного металла за один проход, см^2.

Коэффициент наплавки для ручной сварки покрытыми электродами $\alpha_н$ = 8–10 г/(А·ч); для сварки в CO_2 $\alpha_н$ = 12–14 г/(А·ч); для сварки под флюсом $\alpha_н$ = 13–16 г/(А·ч).

Скорость подачи, $V_{П.ПР.}$, м/ч, сварочной проволоки вычисляют по формуле

$$V_{П.ПР} = \frac{\alpha_Н \cdot I_{СВ}}{\gamma \cdot F_Э \cdot 100}, \qquad (11)$$

где $F_Э$ – площадь сечения электрода (проволоки), $F_Э = \frac{\pi d_Э^2}{4}$, см^2.

Сварка корневого шва (первый проход) осуществляется на следующих параметрах режима сварки: $d_Э$ = 3 мм, $I_{СВ}$ = 100–110 А, $U_Д$ = 22–24 В, $V_{СВ}$ = 8–9 м/ч.

4.4 Расчет норм времени на выполнение сварочных операций

Под технически обоснованной нормой времени понимается установленное для определенных организационно-технических условий время на выполнение заданной работы исходя из рационального использования средств производства с учетом передового производственного опыта. Составными частями технически обоснованной нормы времени являются подготовительно-заключительное время $t_{ПЗ}$, основное время $t_О$, вспомогательное время $t_В$, время на обслуживание рабочего места $t_{ОБС}$, время на отдых и личные надобности (время регламентированных перерывов в работе) $t_П$.

Общее время на выполнение сварочной операции $t_{СВ}$ определяется по формуле

$$t_{СВ} = t_О + t_{ПЗ} + t_В + t_{ОБС} + t_П. \qquad (12)$$

Основное время — это время на непосредственное выполнение сварочной операции, определяется по формуле

$$t_О = \frac{M_{НМ}}{\alpha_Н \cdot I_{СВ}}, \qquad (13)$$

где $M_{НМ.}$ – масса наплавленного металла,

$$M_{НМ} = F_Н \cdot L_Ш \cdot \gamma.$$

Если шов непрерывный односторонний, то длина шва $L_Ш$ равна длине изделия $L_И$; если шов непрерывный двухсторонний, то $L_Ш = 2L_И$.

Если шов прерывистый, то

$$L_Ш = \frac{L_И}{L_{ШАГ}} \cdot L_У, \qquad (14)$$

где $L_У$ – длина непрерывного участка шва;

$L_{ШАГ}$ – расстояние от начала одного участка шва до начала другого.

$L_У$ и $L_{ШАГ}$ указываются в задании в обозначении сварного соединения, например, 100/200.

При шахматном расположении прерывистых швов (например, 100Z200) полученное по формуле значение $L_Ш$ умножается на 2.

Рассчитанное по формуле (13) основное время сварки может быть проверено по формуле $t_O^{/} = \frac{L_Ш}{V_{СВ}}$. (15)

Рассчитанные по формуле (13) t_O и $t_O^{/}$ могут отличаться в пределах погрешности вычислений.

Исходным объектом нормирования при определении основного времени на сварку является участок прямолинейного шва, выполненного в нижнем положении. Поэтому t_O должно уточняться исходя из вида, положения и протяженности швов изготовляемого сварного изделия. Для уточнения основного времени на сварку вводят поправочный коэффициент $К_{ПР}$, зависящий от положения шва в пространстве. Для вертикальных швов $К_{ПР}$ = 1,25, для потолочных $К_{ПР}$ = 1,3, для неповоротных стыков труб $К_{ПР}$ = 1,35 и т. д.

Подготовительно-заключительное время $t_{ПЗ}$ включает в себя такие операции, как получение производственного задания, инструктаж, получение и сдача инструмента, осмотр и подготовка оборудования к работе и т. д. В серийном производстве $t_{ПЗ}$ = 2–4 % от t_O, в единичном производстве $t_{ПЗ}$ = 10–20 % от t_O.

Вспомогательное время $t_В$ состоит из следующих составляющих:

$$t_В = t_Э + t_{КР} + t_{БР} + t_{КЛ} + t_{ИЗД}, \qquad (16)$$

где $t_Э$ – время на смену электрода (при РДС) или время на заправку кассеты с электродной проволокой (при автоматической и механизированной сварке $t_Э$ = 5 мин);

$t_{КР}$, $t_{БР}$ – время на осмотр и очистку свариваемых кромок, очистку швов от шлака и брызг;

$t_{КЛ}$ – время на клеймение швов (время на установку клейма $t_{КЛ}$ = 0,03 мин на один знак);

$t_{ИЗД}$ – время на установку и поворот изделия, его закрепление (при массе изделия до 25 кг эти операции выполняются вручную, в расчете принимается $t_{ИЗД}$ = 3 мин).

Время на смену электрода при ручной дуговой сварке рассчитывается по формуле

$$t_Э = t'_Э \frac{F_Н L_Ш}{V_Э}, \qquad (17)$$

где $t'_Э$ – время на смену одного электрода, $t'_Э$ = 5–10 с;

$V_Э$ – объем одного электрода, $V_Э = \frac{\pi d_Э^2}{4} L_Э$ (где $L_Э$ = 350 мм).

Время зачистки кромок или шва $t_{КР}$ ($t_{БР}$), мин, вычисляется по формуле

$$t_{КР}(t_{БР}) = L_Ш(0{,}6 + 1{,}2(n - 1)), \qquad (18)$$

где n – количество слоев при сварке за несколько проходов;
$L_Ш$ – длина шва, м.

Время на обслуживание рабочего места включает в себя время на установку режима сварки, наладку полуавтомата или автомата, уборку флюса, инструмента и т. д. Для ручной сварки $t_{ОБС} = 0{,}05t_О$; для механизированной и автоматической сварки $t_{ОБС} = (0{,}06–0{,}08)t_О$.

Время перерывов на отдых и личные надобности зависит от положения, в котором сварщик выполняет работы. При сварке в удобном положении $t_П = 0{,}07t_О$, в неудобном положении $t_П = 0{,}1t_О$, в напряженном положении при работе в закрытых сосудах $t_П = 0{,}16t_О$, при работе на высоте с использованием приставных лестниц $t_П = 0{,}2t_О$.

5 Определение химического состава и структуры стали в исходном состоянии

Химический состав стали определяется по [1–5]. 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 4). Для основного металла первоначально рассчитываются эквивалентные значения хрома и никеля по формулам:

$$ЭквCr = \%Cr + \%Mo + 2\%Ti + 2\%Al + \%Nb + 1{,}5\%Si + \%V; \qquad (19)$$

$$ЭквNi = \%Ni + 30\%C + 30\%N + 0{,}5\%Mn. \qquad (20)$$

По значениям ЭквCr и ЭквNi на диаграмме Шеффлера наносится точка, соответствующая структуре стали. Если 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.

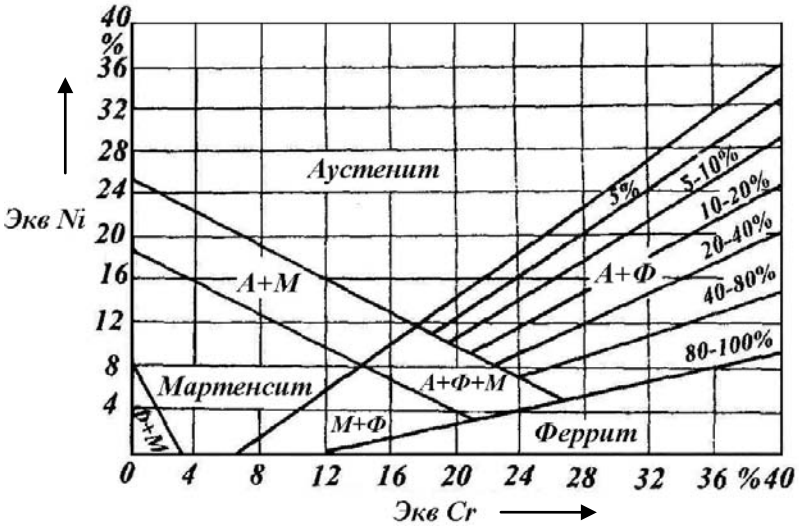


Рисунок 4 – Диаграмма Шеффлера

6 Технологические особенности сварки стали заданного структурного класса

Для описания технологии сварки студентам 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 необходимо изложить особенности сварки стали выбранным способом.

7 Выбор сварочных материалов

Сварочные материалы выбирают в зависимости от структурного класса свариваемого материала, который определяется по химическому составу основного металла. Затем в зависимости от заданного способа сварки, пользуясь [1–9], подбирают необходимые электроды (сварочную проволоку), защитный газ или флюс. Как правило, в литературе для сварки одной стали рекомендуется несколько марок электродов или проволок. Поэтому должно быть обоснование выбора, например, из соображений повышенной коррозионной стойкости, стойкости против образования кристаллизационных трещин и т. д. Для свароч-

ных электродов должны быть указаны тип электрода, тип покрытия, марка электрода, а также приведен химический состав стержня.

Для сварочных проволок и флюса должны быть указаны марка и химический состав. Для всех сварочных материалов необходимо также указывать СТБ (ГОСТы), по которым они поставляются. Для ручной сварки приводится обозначение электрода и дается его расшифровка.

После выбора сварочных материалов требуется определить структурный класс металла сварного шва с целью обеспечения требуемых механических свойств сварного соединения.

8 Расчет расхода сварочных материалов

При разработке технологии сварки после определения норм времени определяют расход сварочных материалов, к которым относятся расход сварочной проволоки (электродов), защитного газа или флюса. Расчет расхода сварочной проволоки для автоматической и полуавтоматической сварки осуществляется по формуле

$$G_{ПР} = M_{НМ}(1+\Psi), \qquad (21)$$

где Ψ – коэффициент потерь, для сварки под флюсом Ψ = 0,03 (3 %); для РДС с учетом потерь на огарки электродов Ψ = 0,2 (20 %); для сварки в CO_2 Ψ = 0,12–0,15 (12–15 %).

Для РДС по формуле (21) определяется вес стержней. Для определения полного веса электродов необходимо учитывать вес покрытия:

$$G_{Э} = G_{ПР} \cdot K_{ВП}, \qquad (22)$$

где $K_{ВП}$ – коэффициент веса покрытия, $K_{ВП}$ = 1,3–1,5.

Расход углекислого газа определяется по формуле

$$G_{CO_2} = q_{CO_2} \cdot t_{O}, \qquad (23)$$

где q_{CO_2} – удельный расход CO_2, л/мин.

Удельный расход CO_2 зависит от диаметра проволоки и силы сварочного тока и определяется по таблице 7.

Таблица 7 – Удельный расход CO_2

Диаметр, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2	3
Сила сварочного тока, А	60–120	60–160	100–250	200–250	240–280	280–400
Удельный расход CO_2, л/мин	8–9	8–9	9–12	14–15	15–18	18–20

После вычисления объема CO_2 в литрах обычно переводят это значение в массу, учитывая, что при испарении 1 кг углекислоты образуется 509 л газа.

Необходимо также указать требуемое количество баллонов CO_2, зная, что в одном баллоне содержится 25 кг углекислоты.

Расход флюса определяется по формуле

$$G_{фл} = (1{,}2–1{,}4)G_{ПР} \quad . \tag{24}$$

9 Расчет химического состава шва и определение его структуры

Сварной шов состоит из основного и наплавленного металлов, которые в процессе сварки перемешиваются, образуя общую сварочную ванну (рисунок 5). При этом в сварочную ванну попадают химические элементы из основного металла в количестве, пропорциональном доли основного металла в металле шва θ_O, и из проволоки в количестве, пропорциональном доли наплавленного металла в металле шва $\theta_Н$:

$$\theta_О = \frac{F_О}{F_Ш}; \qquad \theta_Н = \frac{F_Н}{F_Ш}; \qquad \theta_Н + \theta_О = 1; \qquad F_Н + F_О = F_Ш, \tag{25}$$

где F_O – площадь основного металла в металле шва;

$F_Н$ – площадь наплавленного металла в металле шва;

$F_Ш$ – площадь шва.

Площадь шва определяется по формуле

$$F_Ш = \frac{2}{3}e \cdot H + \frac{3}{4}e \cdot g, \tag{26}$$

где H – высота шва.

Высота стыкового шва равна глубине проплавления: $H = H_{ПР}$.

Высота углового шва $H = H_{ПР} + a$, где глубина проплавления $H_{ПР} = 0{,}6\delta$; $a = 0{,}7К$; ширина углового шва $e = 1{,}4К$.

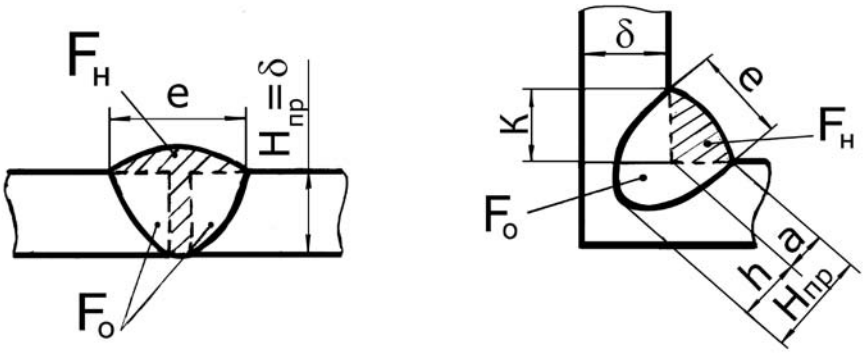


Рисунок 5 – Определение площади шва

После вычисления θ_O и $\theta_Н$ необходимо рассчитать химический состав шва. Содержание каждого элемента вычисляется по формуле

$$Э = Э_О \cdot \theta_О + Э_Н \theta_Н, \tag{27}$$

где $Э_О$ — содержание элемента в основном металле;

$Э_Н$ — содержание элемента в электроде.

После расчета химсостава по диаграмме Шеффлера определяется его структура. При этом необходимо пользоваться формулами, несколько отличающимися от формул, используемых для основного металла:

$$ЭквNi = \%Ni + 30\%C + 30\%N + 10\%B + 0{,}5\%Mn; \quad (28)$$

$$ЭквCr = \%Cr + 2\%Al + \%V + 5\%Ti + 1{,}5\%Si + 2\%Nb + 2\%Mo + 1{,}5\%W. \quad (29)$$

Определив ЭквNi и ЭквCr, наносят на диаграмму Шеффлера точку, соответствующую структуре шва. Структура шва обычно отличается от структуры основного металла. Так, для аустенитных сталей структура шва должна быть аустенитно-ферритной. Для ферритной стали структура шва ферритно-аустенитная. Двухфазная структура обеспечивает лучшие эксплуатационные характеристики шва.

10 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 А; 300–500 А; 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.

Для ручной сварки в качестве источника питания должен быть выбран выпрямитель. Трансформаторы использовать нельзя, т. к. сварка высоколегированных сталей производится на постоянном токе. Марка выпрямителя должна соответствовать рассчитанной силе сварочного тока. Обычно номинальный ток выпрямителя несколько превышает расчетное значение. Для механизированной сварки в CO_2 выбирается полуавтомат, который поставляется в комплекте с источником питания. Кроме силы сварочного тока, полуавтомат должен обеспечивать сварку проволокой выбранного диаметра, а также скорость подачи проволоки, полученную при расчете режима. При автоматической сварке при выборе оборудования используются те же критерии – $I_{СВ}$, $d_Э$, $V_{П.ПР}$. Так как сварка производится на постоянном токе, должен быть выбран автомат, который комплектуется выпрямителем.

При выборе источника питания студентам необходимо учитывать требования по снижению расхода электроэнергии, затрачиваемой на выполнение

сварочных работ. С этой точки зрения наиболее эффективными являются инверторные источники питания с высоким КПД. В таблице 8 представлены значения КПД для различных типов источников питания.

Для приближенной оценки расхода электроэнергии в курсовой работе используется следующая зависимость:

$$P_{ЭЛ} = \frac{I_{СВ} \cdot U_2 \cdot t_O}{\eta}. \qquad (30)$$

где $I_{СВ}$ — сила сварочного тока, А;
U_2 — напряжение на дуге, В;
t_O — основное время сварки, ч;
η — КПД источника питания.

Таблица 8 – Коэффициент полезного действия источников питания

Параметр	Тип источника питания					
	Традиционный (конвенциональный) источник питания					Инверторный источник питания
	ВД–306 ВДУ–305 ВСК–500	ВДГ–301 ВДГ–302 ВСЖ–303 ВД–303 ВДУ–601	ВДУ–506	ВДУ–1001 ВДУ–1201 ВДУ–504 ВДГ–601 ВДУ–505	ВДМ–1601 ВДГ–502 ВДМ–1001	
КПД, %	70	75	79	82	88-90	85-90

11 Оформление операционной карты

Требования к заполнению и оформлению технологических документов на процессы и операции по сварке устанавливаются ГОСТ 3.1407–86. При описании операций сварки следует применять типовые блоки режимов, указанные в таблице 9.

Пояснения к обозначениям граф блоков режимов сварки представлены в таблице 10.

Таблица 9 – Графы блоков режимов сварки

Обозначение	ПС	НП	DC	l_c	$l_э$	Пл	U	I	V_c	$V_п$	$q_{оз}$	$q_{дз}$	$q_к$
Номер графы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Студенту необходимо разработать операционную карту на технологический процесс сборки и сварки изделия. Форма операционной карты (первый и последующие листы), а также пример ее заполнения приведены в ГОСТ 3.1407–86 (форма 1, форма 1а).

Таблица 10 – Содержание граф блоков режимов сварки

Номер графы	Условное обозначение графы при заполнении		Содержание графы
	ручном	автоматизированном	
1	ПС	ПС	Обозначение положения сварки по ГОСТ 11969–79
2	НП	НП	Номер прохода для многослойных сварных швов
3	DC	DC	Диаметр сопла для сварки в защитных газах со струйной защитой
4	l_c	LC	Расстояние от торца сопла до поверхности свариваемых деталей для дуговой сварки в защитных газах со струйной защитой
5	$l_э$	LЭ	Вылет электрода
6	Пл	ПЛ	Обозначение полярности (П – прямая, О – обратная)
7	U	U	Напряжение дуги
8	I	I	Сила сварочного тока
9	V_c	VC	Скорость сварки
10	$V_п$	VП	Скорость подачи присадочного металла
11	$q_{оз}$	QОЗ	Расход защитного газа для основной защиты в единицу времени
12	$q_{дз}$	QДЗ	Расход защитного газа для дополнительной защиты в единицу времени
13	$q_к$	QК	Расход защитного газа для защиты корня шва в единицу времени

Список литературы

1 **Куликов, В. П**. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки / В. П. Куликов. – Минск: Экоперспектива, 2003. – 416 с.

2 Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебник для вузов/ А. И. Акулов [и др.]; под ред. А. И. Акулова. – 2-е изд. испр. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. – 560 с.: ил.

3 **Куликов, В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением / В. П. Куликов. – Могилев: ММИ, 1998. – 256 с.

4 **Акулов, А. И**. Технология и оборудование сварки плавлением / А. И. Акулов. – М. : Машиностроение, 1977. – 432 с.

5 Сварка в машиностроении: справочник / Под ред. Н.А. Ольшанского – М.: Машиностроение, 1978–1979.

6 Сварка и свариваемые материалы / Под ред. В. Н. Волченко. – М. : Металлургия, 1991. – 527 с.

7 **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением/ В.П. Куликов. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 257 с.

8 Оборудование для дуговой сварки / Под ред. В. В. Смирнова. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 655 с.

9 **Чернышов, Г. Г.** Технология сварки плавлением/ Г. Г. Чернышов: учебник. – М. : Академия, 2010. – 272 с.

10 **Кононенко, В. Я.** Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом / В. Я. Кононенко. – Киев: Ника-ПРИНТ, 2007. – 266 с.

Приложение А
(справочное)

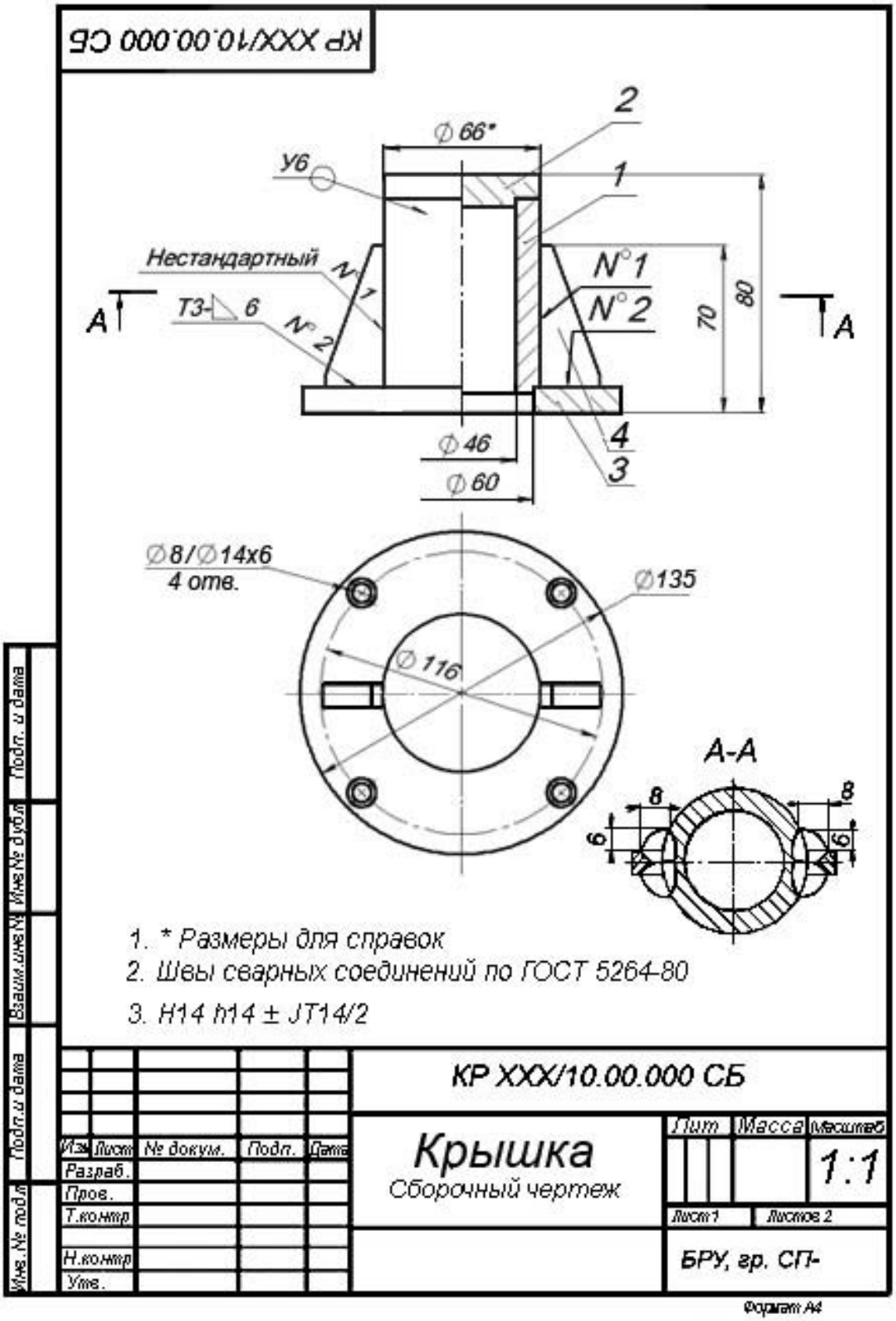


Рисунок А.1 – Пример оформления сборочного чертежа