

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. И. Кузьмин, А. П. Пеев, Е. В. Кузьмин

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
И ОСНАСТКИ**

*Учебно-методическое пособие*



Волгоград  
2016

УДК 621.79 (075)

**Р е ц е н з е н т ы:**

директор ООО «Политех», д-р техн. наук *И. Е. Лапин*;

директор ДИЦ «Мост», канд. техн. наук *В. М. Букин*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

**Кузьмин, В. И.**

Проектирование и технология производства сварных конструкций и оснастки: учебно-методическое пособие / В.И. Кузьмин, А. П. Пеев, Е.В. Кузьмин – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2016. – 95 с.  
ISBN 978-5-9948-2151-0

Приведены теоретические основы рационального проектирования и технология производства сварных конструкций и оснастки. Даны примеры и варианты заданий к практическим занятиям, содержание и методика выполнения лабораторных работ, а также контрольные вопросы для проверки усвоения студентами полученных знаний.

Предназначено для обучения студентов по направлению «Машиностроение» профиля «Оборудование и технология сварочного производства».

Ил. 23. Табл. 11. Библиогр.: 16 назв.

ISBN 978-5-9948-2151-0

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2016

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

### РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

#### СВАРНОЙ БАЛКИ

##### 1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Овладеть методикой расчета и рационального проектирования поперечного сечения сварной подкрановой балки.

##### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При проектировании сварных балок необходимо стремиться к минимальной площади поперечного сечения  $F$  при максимальном моменте инерции  $J$  и моменте сопротивления  $W$ . Сечения балок, удовлетворяющие этим требованиям при разных видах нагрузки, приведены на рис. 1.

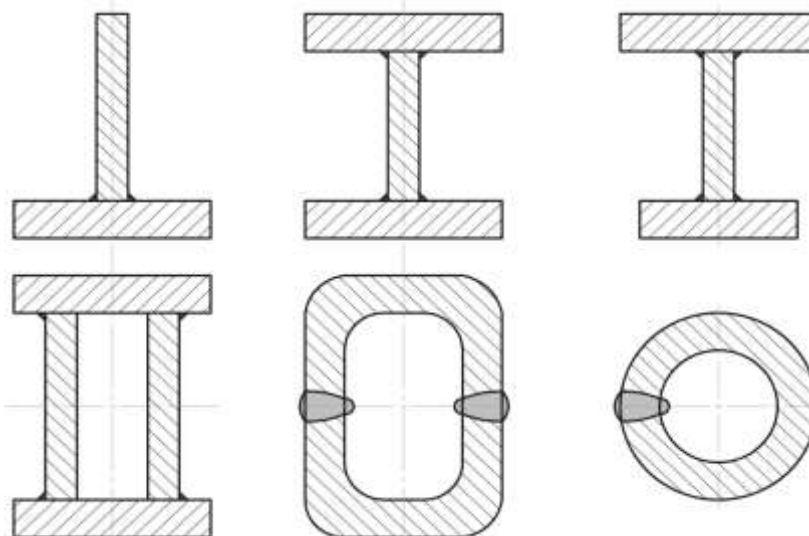


Рис. 1. Виды поперечных сечений сварных балок

Наиболее часто применяют сварные балки двутаврового и коробчатого сечений. Двутавровые балки хорошо сопротивляются изгибу в плоскости своей наибольшей жесткости, коробчатые – изгибу в разных плоскостях и кручению. Сварка позволяет изготавливать балки высотой до 4 метров и более, а также любой длины. Показателем экономичности сечения

балки является параметр  $W/F$ . Чем выше это отношение, тем при меньшей массе металла достигается увеличение сопротивления профиля на изгиб. Однако принимать чрезмерно тонкие вертикальные стенки опасно из-за возможности потери местной устойчивости.

## 2.1. Определение высоты балки из условий жесткости

Балка должна удовлетворять требованию жесткости, т. е. ее прогиб  $f_{\max}$  от наибольшей нагрузки не должен превышать предельно допустимый. Обычно в балках данное требование регламентируется нормой жесткости, т. е. отношением  $f_{\max}/l$ . Для подкрановых балок это отношение должно быть не более 1/600-1/700, а для главных балок междуэтажных перекрытий  $\leq 1/400$ .

Чтобы удовлетворить требованиям жесткости, балка должна иметь высоту не менее некоторой предельной величины. Эта минимальная высота балки определяется видом нагружения и допускаемыми напряжениями. Рассмотрим, какова должна быть предельно наименьшая высота балки  $h$ , свободно лежащей на двух опорах, если она нагружена равномерной нагрузкой (рис. 2).

Величина расчетного прогиба равна.

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости, кг/см<sup>2</sup>;  $J$  – момент инерции, см<sup>4</sup>.

Величина максимального изгибающего момента равна:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8}, \quad (2)$$

Подставляя значение  $M$  в формулу (1), получим:

$$f_{\max} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M \cdot l^2}{E \cdot J}, \quad (3)$$

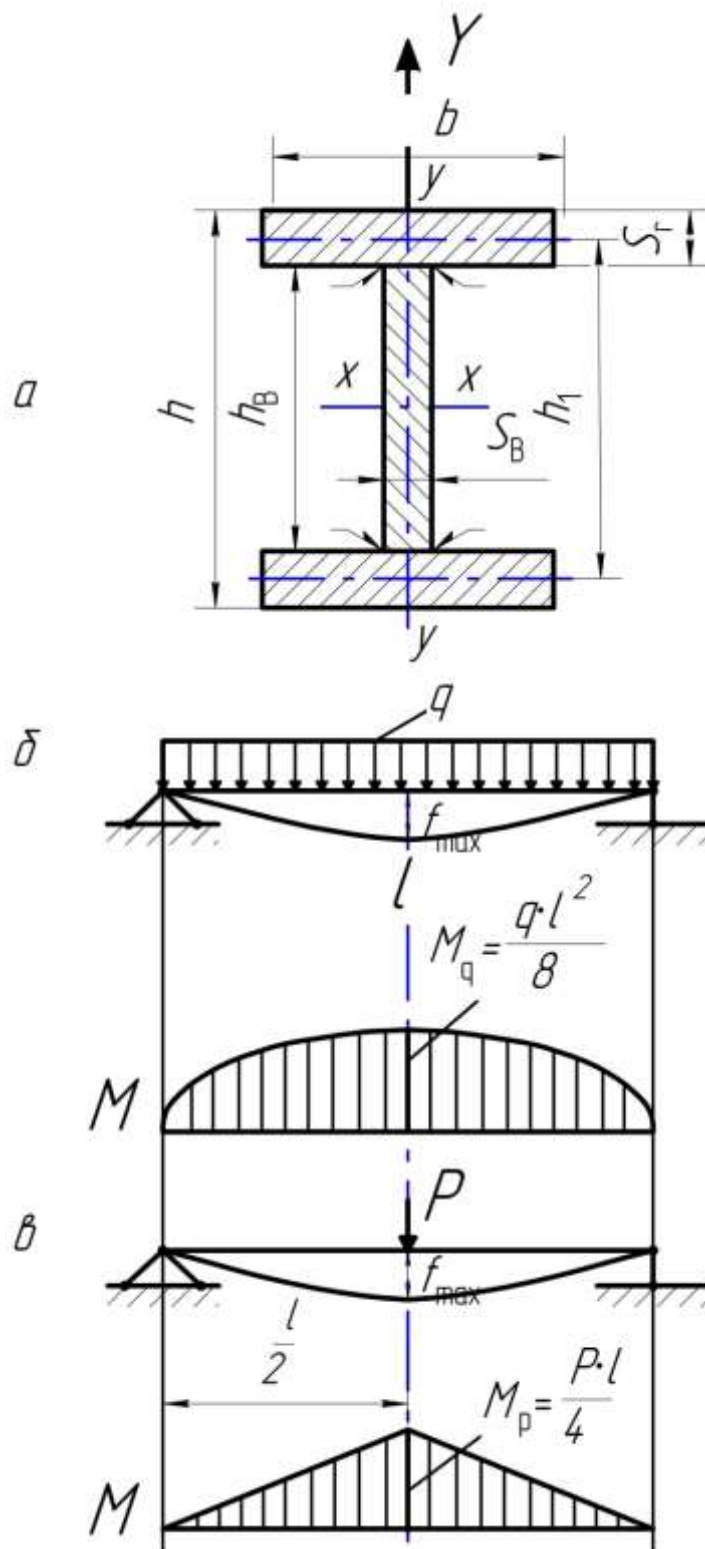


Рис. 2. Схема для расчета высоты сварной балки:  
 а — поперечное сечение балки;  
 б — балка, нагруженная равномерной нагрузкой  $q$ ;  
 в — балка, нагруженная сосредоточенной силой  $P$

Величина изгибающего момента может быть выражена как:

$$M_q = \sigma_q \cdot W \quad (4)$$

Принимая  $\sigma_{\max} = [\sigma]_p$  получим:

$$M = [\sigma]_p \cdot W, \quad (5)$$

где  $[\sigma]_p$  – допустимое напряжение при растяжении, кг/см<sup>2</sup>;

$W$  – момент сопротивления, см<sup>3</sup>.

Если расчетное сечение симметрично относительно горизонтальной оси  $x-x$  (рис. 3,а), то момент сопротивления:

$$W = \frac{2 \cdot J}{h}, \quad (6)$$

где  $h$  – высота балки.

Подставив значение  $M$  из формулы (5) в формулу (3), получим:

$$f_{\max} = \frac{5}{24} \cdot \frac{[\sigma]_p \cdot l^2}{E \cdot h}, \quad (7)$$

откуда

$$h = \frac{5}{24} \cdot \frac{l}{f_{\max}} \cdot \frac{[\sigma]_p}{E} \cdot l, \quad (8)$$

где  $l/f_{\max}$  – величина, обратная задаваемой проектанту нормы жесткости  $f_{\max}/l$ .

Высота балки, вычисленная по формуле (8), является наименьшей при заданных  $[\sigma]_p$ .

При других видах нагружения балок в формуле (8) изменяется лишь численный коэффициент. Например, при нагружении балки сосредоточенной силой  $P$  в середине пролета (рис. 2,в) высота балки рассчитывается по формуле:

$$h = \frac{1}{6} \cdot \frac{l}{f_{\max}} \cdot \frac{[\sigma]_p}{E} \cdot l, \quad (9)$$

Для случая, когда на балку одновременно действуют нагрузки по схеме на рис. 2,б и 2,в, максимальный суммарный прогиб равен:

$$f_{\max} = f_{\max 1} + f_{\max 2} = \frac{5}{24} \cdot \frac{l}{f_{\max 1}} \cdot \frac{[\sigma]_p}{E \cdot h} \cdot l + \frac{1}{6} \cdot \frac{l}{f_{\max 2}} \cdot \frac{[\sigma]_p}{E \cdot h} \cdot l, \quad (10)$$

Принимая  $\sigma_{\max} = \sigma_q + \sigma_p = [\sigma]_p$  (11) и что  $\frac{\sigma_q}{\sigma_p} = \frac{M_q}{M_p}$  (12), получим:

$$\sigma_q = \frac{M_q}{M_p + M_q} \cdot [\sigma]_p \quad (13) \quad \text{и} \quad \sigma_q = \frac{M_p}{M_p + M_q} \cdot [\sigma]_p, \quad (14)$$

где  $M_p$  и  $M_q$  – составляющие момента в том сечении, где:

$$M = M_q + M_p = M_{\max}, \quad (15)$$

Подставив значения  $\sigma_q$  и  $\sigma_p$  в формулу для прогиба (10), получим выражение, аналогичное выражениям (8) и (9), отличающееся только величиной числового коэффициент  $k$ :

$$h = k \cdot \frac{l}{f_{\max}} \cdot \frac{[\sigma]_p}{E} \cdot l, \quad (16)$$

Таким образом, чем прочнее материал (т.е. чем выше  $[\sigma]_p$ ) и чем меньше модуль упругости  $E$ , тем больше высота балки, требуемая по условиям жесткости.

## 2.2. Определение высоты балки из условий прочности и экономичности

Балка должна удовлетворять прочности при условии наименьшего веса, т. е. поперечное сечение должно быть минимальным.

Высота балки для двутаврового профиля может быть найдена по следующей формуле:

$$h = (1,3 - 1,4) \cdot \sqrt{\frac{M}{S_B \cdot [\sigma]_p}}, \quad (17)$$

для коробчатого профиля:

$$h = \sqrt{\frac{M}{S_B \cdot [\sigma]_p}}, \quad (18)$$

где  $M$  – расчетный изгибающий момент балки;

$S_B$  – толщина вертикального листа.

При проектировании балок толщина  $S_B$  в формулах (17) и (18) неизвестна, поэтому ее первоначально задают. Для разных строительных конструкций  $S_B$  обычно изменяется в сравнительно узких пределах: для легких балок  $S_B=5-10$  мм, для тяжелых балок  $S_B=10-18$  мм.

Толщину вертикального листа для двутавровой балки можно определить по формуле:

$$S_B = \frac{\sqrt{h_B}}{11}, \quad (19)$$

для коробчатой балки:

$$S_B = \frac{\sqrt{h_B}}{13}, \quad (20)$$

Значение высоты балки  $h$ , найденные с учетом требований жесткости, прочности и экономичности, могут оказаться совершенно различными. Их двух вычисленных значений высот следует принять наибольшую величину  $h$ .

### 2.3. Расчет поперечного сечения балки

Подбор сечения балки начинается с расчета требуемого момента сопротивления и требуемого момента инерции сечения:

$$W_{тр} = \frac{M}{[\sigma]_p}, \quad (21)$$

$$J_{тр} = W_{тр} \cdot \frac{h}{2}, \quad (22)$$

Вычисляем момент инерции вертикального листа высотой  $h_B$  и толщиной  $S_B$  (принимается приближенно  $h_B=0,95 \cdot h$ ):

$$J_B = \frac{S_B \cdot h_B^3}{12}, \quad (23)$$

Находим момент инерции двух горизонтальных листов:



$$J_{\Gamma} = J_{\text{тр}} - J_{\text{в}}, \quad (24)$$

По-другому момент инерции двух горизонтальных листов можно выразить как:

$$J_{\Gamma} = 2 \cdot J_0 + 2 \cdot F_{\Gamma} \cdot \left(\frac{h_1}{2}\right)^2, \quad (25)$$

где  $J_0$  – момент инерции горизонтального листа относительно собственной оси, которой всегда очень мал и может быть принят равным нулю;

$h_1$  – расстояние между центрами тяжести горизонтальных листов, которое можно принять равными  $(0,96-0,98) \cdot h$ .

Из уравнения (25) находим требуемую площадь сечения одного горизонтального листа:

$$F_{\Gamma} = \frac{2 \cdot J_{\Gamma}}{h_1^2}, \quad (26)$$

$$J_{\Gamma} = J_{\text{тр}} - J_{\text{в}} = \frac{M_{\text{max}}}{[\sigma]_{\text{р}}} \cdot \frac{h}{2} - \frac{S_{\text{в}} \cdot h_{\text{в}}^3}{12}, \quad (27)$$

Размеры пояса  $S_{\Gamma}$  и  $b$  (рис. 2, а) должны соответствовать ГОСТ 82-70 на сталь широкополосную, из которой рекомендуется изготовить пояса балок (она дешевле листа, не имеет «саблевидности» и выпускается длиной до 18 м).

Толщину горизонтального пояса можно выбрать по зависимости:

$$S_{\Gamma} = (0,01 \dots 0,25) \cdot h, \quad (28)$$

при этом  $S_{\Gamma}$  лучше брать ближе к  $0,01 \cdot h$ .

Ширина пояса равна:

$$b = \frac{F_{\Gamma}}{S_{\Gamma}}, \quad (29)$$

При расчете сечения пояса необходимо выполнять следующие требования:

1)  $b/S_T=10-20$  (но не более 24), что обеспечивает местную устойчивость полок сжатого пояса; лучше, если  $b/S_T$  ближе к 20;

2)  $b \geq 200$  мм для балок с  $h \geq 700$  мм;

3) в поясах должно содержаться не менее 30% материала сечения балки, для чего  $F_T = b \cdot S_T \geq \frac{F_B}{70} \cdot 15 = \frac{15}{70} \cdot h_B \cdot S_B$ .

Если рассчитанные размеры сечения не удовлетворяют этим требованиям (это случается в балках, высота которых выбрана из условий жесткости), то необходимо увеличить сечение пояса. Окончательные размеры  $b$  и  $S_T$  должны соответствовать ГОСТ 82-70.

#### 2.4. Проверка подобранного сечения балки

Подобрав размеры поперечного сечения балки необходимо произвести четыре проверки:

1) Проверка по максимальным напряжениям.

Напряжение от изгиба должно быть

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{J} \cdot \frac{h}{2} \leq [\sigma]_p, \quad (30)$$

где  $J$  – осевой момент инерции подобранного сечения.

Перегруз более 5% недопустим. Недогруз более 5% допускается, если он оправдан, например, выбором высоты из условий жесткости.

2) Проверка по максимальным касательным напряжениям.

Касательные напряжения должны быть

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S}{J \cdot S_B} \leq [\tau] = 0,6 \cdot [\sigma]_p, \quad (31)$$

где  $Q_{\max}$  – максимальная перерезывающая сила;

$S$  – статический момент половины площади сечения (симметричного) относительно центра тяжести балки (рис. 2,а).

3) Проверка по эквивалентным напряжениям.

Эквивалентные напряжения обычно проверяются в тех случаях, когда максимальные значения  $M_{\max}$  и  $Q_{\max}$  совпадают в одном поперечном сечении. Их определяют на уровне верхней кромки вертикального листа:

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \leq [\sigma]_p, \quad (32)$$

где  $\sigma_1 = \frac{M_{\max} \cdot h_B}{J \cdot 2}$  – нормальное напряжение;

$\tau_1 = \frac{Q_{\max} \cdot S'}{J \cdot S}$  – касательные напряжения;

$S'$  – статический момент площади горизонтального листа относительно центра тяжести сечения балки. В большинстве случаев эквивалентные напряжения оказываются меньше напряжения, вычисленного по формуле (30).

4) Проверка по использованию материала.

$$\frac{2 \cdot F_{\Gamma}}{2 \cdot F_{\Gamma} + F_B} \cdot 100 \geq 30\% \quad (33)$$

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для проверки полученных студентами знаний по овладению методикой расчета и проектирования поперечного сечения сварной балки предлагается выполнить практические задания, представленные на рис. 3 и табл.1

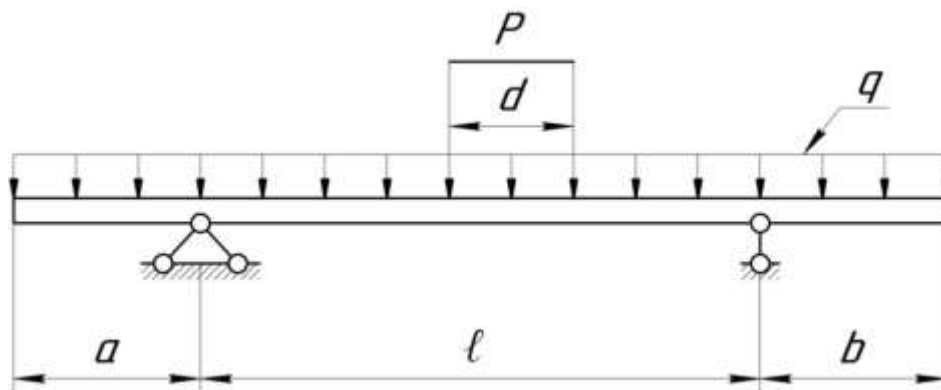


Рис. 3. Расчетная схема для подбора поперечного сечения сварной балки

Таблица 1

**Варианты практических заданий по расчету и проектированию сечения сварной балки**

№ задания	Сечение балки	Материал балки	$\ell$ , м	$a$ , м	$b$ , м	$d$ , м	$q$ , кг/м	$P$ , т	$f_{\max}/\ell$
1	Двутавр	Ст3	20	–	–	2	1000	15	1/600
2	Коробчатое	Ст5	18	–	–	2,5	1800	22	1/600
3	Двутавр	Ст2	24	–	4	3	700	10	1/700
4	Коробчатое	10ХСНД	18	–	3,5	3	2200	25	1/700
5	Двутавр	16ГС	24	3	3	2	1500	18	1/700
6	Коробчатое	Ст3	28	2	2	2,5	1400	16	1/700
7	Двутавр	10ХСНД	30	–	–	3	1700	22	1/700
8	Коробчатое	16ГС	24	–	–	2	1800	20	1/700
9	Двутавр	Ст3	22	–	2	3	800	14	1/600
10	Коробчатое	Ст5	26	–	3	2	2000	25	1/700
11	Двутавр	Ст5	20	2,5	2,5	2	1600	20	1/600
12	Коробчатое	Ст2	18	3	3	2,5	1100	12	1/500
13	Двутавр	Ст3	22	–	–	2	900	10	1/600
14	Коробчатое	Ст5	24	–	–	3	1200	15	1/700

#### 4. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

- 1) Какие предъявляются требования при проектировании сварных балок?
- 2) При каких условиях нагружения целесообразно применять балки коробчатого сечения?
- 3) Как определяется показатель экономичности сечения балки?
- 4) Какие виды поперечного сечения балки применяются в сварочном производстве?
- 5) Что называется нормой жесткости балки?
- 6) В каком сечении балки будет наибольший изгибающий момент?
- 7) В каких единицах измеряется момент сопротивления?
- 8) В каких единицах измеряется момент инерции?
- 9) Какие предъявляются требования при определении высоты балки?
- 10) По каким критериям проверяют правильность подобранного сечения сварной балки?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБЩЕЙ И МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СВАРНОЙ БАЛКИ

#### 1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Овладеть методикой обеспечения общей и местной устойчивости сварной балки.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

##### 2.1. Общая устойчивость балки

Общая устойчивость балки – это устойчивость всей сжатой части сечения на ее длине. Высокие балки, у которых  $J_x \gg J_y$ , потеря устойчивости может происходить только в горизонтальной плоскости. Для предотвращения потери общей устойчивости следует принять следующие меры:

1) Укоротить свободную длину изгибаемого элемента.

Для случая, когда установлены параллельно две изгибаемые балки 1 и 2, то их следует закреплять с помощью связей (рис. 1), особенно это относится к сжатым поясам. Такие связи устанавливаются на концах сравнительно коротких участков длиной  $l_0$ . Связи крепятся за соседние балки, а если проектируется одиночная балка, то узлы сжатого пояса закрепляют за другие конструкции (например, за колонны здания).

Длина участков  $l_0$  между связями выбирается из следующих условий:

а) для балок из малоуглеродистых сталей  $l_0 \leq 16 \cdot b$ ;

б) для балок из низколегированных сталей и алюминиевых сплавов  $l_0 \leq 12 \cdot b$ .

2) Снизить величину допускаемых напряжений.

Проверку напряжений в изгибаемой балке с учетом требований обеспечения общей устойчивости проводят по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \varphi \cdot [\sigma]_p, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – коэффициент уменьшения допускаемых напряжений в балке с учетом обеспечения ее устойчивости.

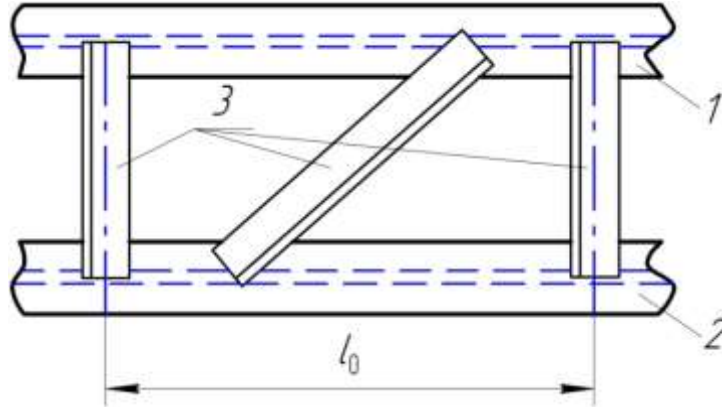


Рис. 1. Закрепление балки в горизонтальной плоскости:  
1 – первая балка; 2 – вторая балка; 3 – связи, обеспечивающие закрепление одной балки с другой

Для двутавровых балок:

$$\varphi = \varphi_1 \cdot \frac{J_y}{J_x} \cdot \left(\frac{h}{l_0}\right)^2 \cdot 10^3, \quad (2)$$

где  $J_x$  и  $J_y$  – моменты инерции относительно осей  $X$  и  $Y$ ;

$h$  – полная высота балки;

$l_0$  – расстояние между закреплениями;

$\varphi_1$  – коэффициент.

Коэффициент  $\varphi_1$  рассматривают как функцию  $\alpha$  (табл. 1) и определяют по зависимости:

$$\alpha = 8 \cdot \left(\frac{l_0 \cdot S_r}{b \cdot h}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{h \cdot S_b^3}{2 \cdot b \cdot S_r^3}\right), \quad (3)$$

где  $b$  – ширина пояса;

$S_r$  – толщина горизонтального листа;

$S_b$  – толщина вертикального листа.

В табл.1 значения  $\varphi_1$  приведены для двутавровых балок из стали Ст3. Для более прочных сталей значения  $\varphi_1$  следует умножить на отношение  $210/R$ , где  $R$  – расчетное сопротивление для данных сталей.

Таблица 1

Значения коэффициента  $\varphi_1$  как функции  $\alpha$

$\alpha$	0,1	1,0	8,0	16,0	32,0	64,0
$\varphi_1$	1,73	1,85	2,63	3,37	4,59	6,50

При проектировании балок целесообразно поступить следующим образом: предварительно задаться отношением  $l_0/b=10-20$ ; определить  $\alpha$  по формуле (3), затем по табл.1 найти значения  $\varphi_1$ .

## 2.2. Местная устойчивость балки

В сжатых поясах потеря местной устойчивости происходит, когда напряжения сжатия превышают критические значения.

Местная устойчивость сжатых поясов балок обеспечивается следующим условием:

$$b \leq 30 \cdot S_T \cdot \sqrt{\frac{210}{R}}, \quad (4)$$

где  $b$  – ширина пояса;

$S_T$  – толщина пояса;

$R$  – расчетное сопротивление (для Ст3  $R=210$  МПа).

Устойчивость вертикального листа в балках из низкоуглеродистой стали обеспечена, если при отсутствии сосредоточенных сил, перемещающихся по балке, выполняется условие

$$\frac{h_B}{S_B} \leq 110 \cdot \sqrt{\frac{210}{\sigma_T}}, \quad (5)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести, МПа.

При наличии сосредоточенных сил, перемещающихся по балке, должно выполняться условие:

$$\frac{h_B}{S_B} \leq 80 \cdot \sqrt{\frac{210}{\sigma_T}} \quad (6)$$

В вертикальных листах балок потеря местной устойчивости может быть вызвана нормальными сжимающими напряжениями и комбинацией нормальных и касательных напряжений. Касательные напряжения  $\tau$  вызывают в диагональных сечениях нормальные сжимающие  $\sigma_{\max}$  и растягивающие  $\sigma_{\min}$  напряжения (рис. 2).

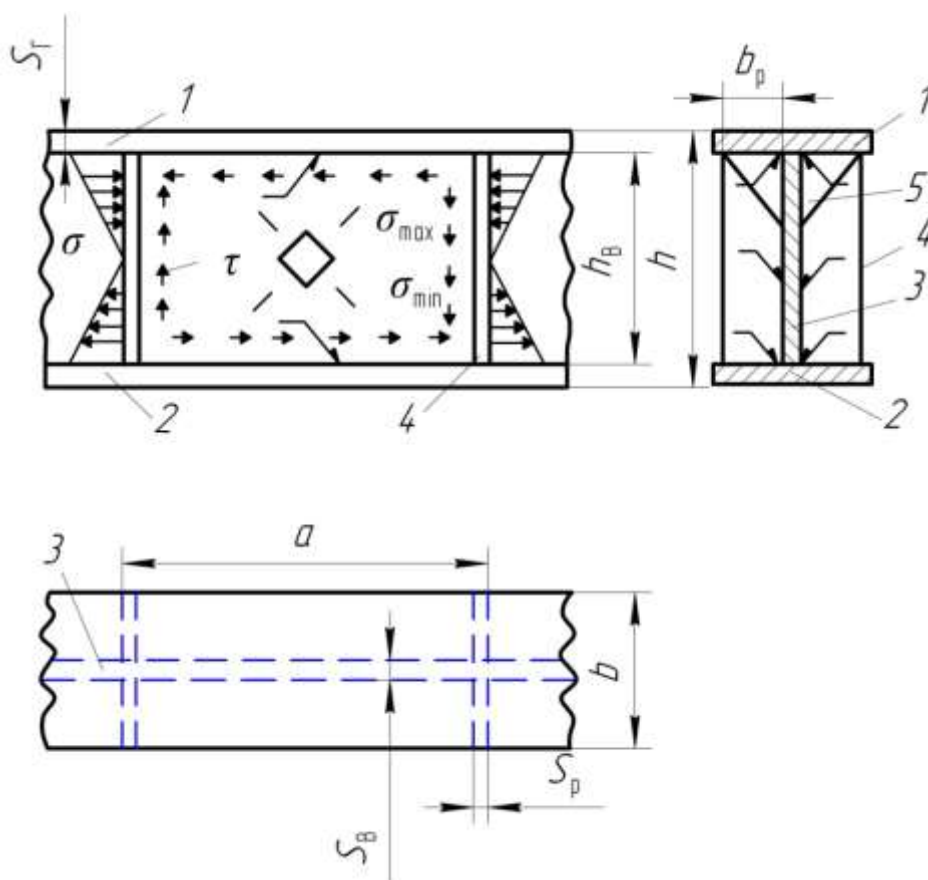


Рис. 2. Схема для расчета местной устойчивости вертикальных листов балки:  
 1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – стенка; 4 – вертикальное ребро жесткости; 5 – косынка жесткости

Критические касательные напряжения, вызывающие потерю устойчивости вертикального листа, определяют по формуле:



$$\tau_{кр} = V_0 \cdot \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left(\frac{S_B}{h_B}\right)^2, \quad (7)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона, равный 0,3;

$S_B$  – толщина вертикального листа;

$h_B$  – высота вертикального листа;

$E$  – модуль упругости;

$V_0$  – коэффициент, зависящий от отношения длины вертикального листа между его закреплениями  $a$  к его высоте  $h$ .

Если балка имеет значительную длину, а вертикальный лист не имеет закреплений, то  $V_0$ . Они выше, чем для  $\tau_{кр}$ . В балках значительной длины  $V_0=19$ .

Таким образом,  $\sigma_{кр}$  менее опасны в отношении устойчивости, чем  $\tau_{кр}$ . На практике при определении устойчивости вертикальных балок листов балок приходится учитывать комбинированное действие нескольких видов напряжений.

Для повышения местной устойчивости вертикального листа, т.е. для увеличения  $\tau_{кр}$ , при заданной высоте балки следует уменьшить  $a$ , устанавливая ребра жесткости.

Постановка ребер жесткости необходима, если не выполняются условия (2) и (3). На практике вертикальные ребра жесткости чаще всего выполняют из полос (рис. 1 и ), реже ребра выполняют из профильного материала (рис. 3).

Ширину ребра жесткости принимают:

$$b_p = \frac{h_B}{30} + 40 \text{ мм}, \quad (8)$$

толщину ребра

$$S_p \geq \frac{b_p}{15} \quad (9)$$

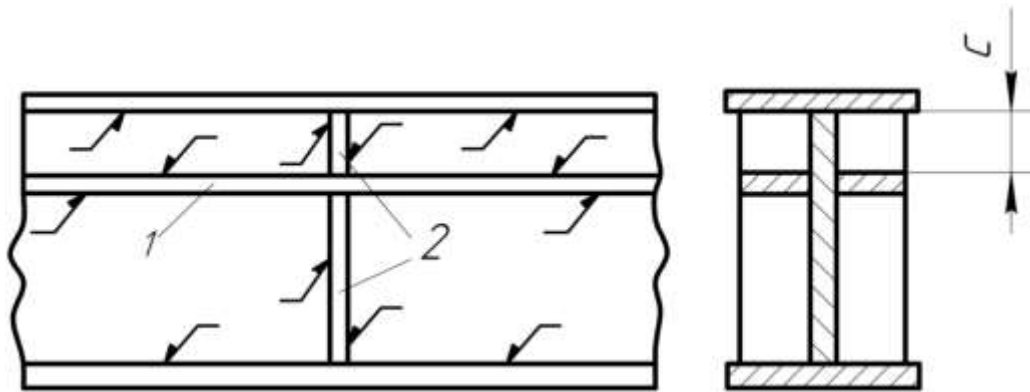


Рис. 2. Постановка ребер жесткости:  
 1 – горизонтальное ребро жесткости;  
 2 – вертикальное ребро жесткости.

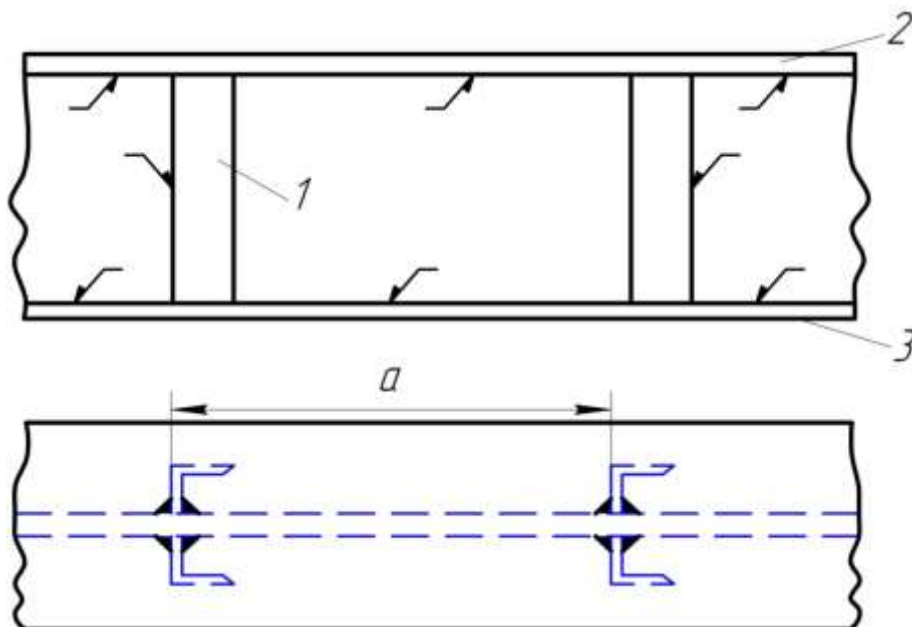


Рис. 3. Постановка профильных ребер жесткости:  
 1 – ребро жесткости; 2 – верхний пояс; 3 – нижний пояс.

При подвижных сосредоточенных нагрузках промежуточные ребра ставят на достаточно близких расстояниях  $a$  друг от друга:

$$\text{у опор – } a = (1,0 \dots 1,2)h \quad (10)$$

$$\text{в пролете – } a = (1,2 \dots 1,5)h \quad (11)$$

Кроме основных ребер жесткости, устанавливаемых по всей высоте вертикального листа балки, в интервалах между ними иногда ставят укороченные ребра жесткости треугольного очертания – косынки (рис. 1). Их длина составляет около  $1/3h_{\text{в}}$ . Укороченные ребра (косынки жесткости)

ставят при воздействии на пояс балок сосредоточенных грузов большой величины. Как правило, наличие таких ребер нежелательно, т.к. осесимметричное их расположение относительно оси вызывает при сварке искривленных балки вертикальной плоскости.

В балках большой высоты ( $h \geq 2,5-3,0$  м) иногда ставят горизонтальные ребра жесткости (рис. 2). Их располагают на расстоянии  $c = (0,20 \dots 0,25)h_B$  от верхнего горизонтального листа.

При отсутствии в балке подвижных нагрузок рекомендуется постановка ребер жесткости с одной стороны. Это дает экономию металла, но способствует значительному деформированию балки от несимметрично уложенных швов.

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для проверки полученных студентами знаний по овладению методикой обеспечения общей и местной устойчивости балки предлагается выполнить практические задания, представленные на рис. 1-3 и табл.2

Таблица 2

**Варианты практических заданий по обеспечению общей и местной устойчивости сварной балки**

№ задания	Наличие сосредоточенной силы	Материал балки	Длина балки $\ell$ , м	Высота балки $h$ , м	Ширина пояса $b$ , мм	Толщина вертикал. листа $S_B$ , мм	Толщина гориз. листа $S_T$ , мм	Распределенная нагрузка $q$ , кг/м
1	есть	Ст40	16	1,5	500	20	25	700
2	нет	Ст3	20	0,8	250	10	14	1000
3	есть	Ст2	24	2,0	600	24	30	1300
4	нет	10ХСНД	18	1,2	350	15	22	2000
5	есть	16ГС	30	1,0	300	12	18	850
6	нет	Ст3	28	1,5	450	22	26	1700
7	есть	10ХСНД	18	1,7	600	20	25	1400
8	нет	16ГС	24	0,8	300	14	20	900
9	есть	Ст3	22	1,0	400	12	14	1100
10	нет	Ст5	15	2,0	650	24	26	600
11	есть	Ст2	20	1,5	400	18	20	800
12	нет	09Г2С	24	1,7	500	20	28	1000
13	есть	Ст3	20	1,2	350	15	18	1650
14	нет	Ст20	12	0,7	300	3	15	950

#### 4. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

- 1) Что понимается под общей устойчивостью балки?
- 2) В какой плоскости происходит потеря общей устойчивости балки?
- 3) Какие пути применяют для предотвращения потери общей устойчивости балки?
- 4) Как определяется расстояние постановки связей для балок?
- 5) Что понимается под местной устойчивостью балки?
- 6) Что необходимо учитывать для обеспечения местной устойчивостью балки?
- 7) Как определяется расчетное сопротивление материала?
- 8) Как определяется устойчивость вертикального листа сварной балки?
- 9) Что понимается под основными и укороченными ребрами жесткости?
- 10) В каких случаях необходима постановка ребер жесткости?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПОДБОР ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

### СВАРНОЙ ФЕРМЫ

#### 1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Овладеть методикой проектирования и рационального подбора поперечного сечения сварной фермы.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При подборе поперечных сечений стержней ферм необходимо учитывать следующие обстоятельства. Стержни должны обладать достаточной прочностью и жёсткостью. Превышение расчётного напряжения относительно допускаемого не должно быть больше 5 %.

Стержни следует конструировать по возможности экономично, т.е. расчётные напряжения должны быть близкими к допускаемым. Однако поперечные сечения стержней, нагруженных небольшими продольными силами, часто подбирают из условий жёсткости. Поэтому в этих стержнях напряжения могут быть незначительными.

Наибольшее значение гибкости  $\lambda$  стержней стальных ферм промышленных сооружений не должно превышать данных табл. 1.

Таблица 1

**Предельная гибкость  $\lambda$  элементов ферм**

Наименование элементов конструкции	Сжатые стержни	Растянутые стержни	
		при статических нагрузках	при динамических нагрузках
Пояса, опорные раскосы	120	400	150...250
Прочие элементы ферм	150	400	350
Основные колонны	120	—	—
Второстепенные колонны, связи между ними	150	300	300
Остальные элементы связей	200	400	400

В фермах гибкость ограничивается не только в сжатых, но и в растянутых стержнях, чтобы устранить их провисание при большой гибкости и вибрации при динамических нагрузках. Сортамент применяемого металла должен быть по возможности однообразным, т. к. следует иметь как можно меньшее количество разнородных элементов (позиций). Это упрощает и удешевляет изготовление ферм на заводе. Фермы в значительном большинстве случаев конструируются из прокатных профильных элементов. Лучше применять гнутые элементы, имеющие меньшую толщину и повышенную жёсткость по сравнению с прокатными.

При конструировании ферм следует стремиться сократить объём сварочных работ, располагать швы в элементах симметрично и обеспечивать удобное выполнение сварки, как на заводе, так и на монтажной площадке.

### 2.1. Подбор сечений сжатых поясов

Типы поперечных сечений сжатых поясов, имеющие наибольшее распространение, приведены на рис. 1.

Сечение в форме одного уголка (рис. 1, *а*) применяют в слабонагруженных фермах или в нерабочих элементах. Сечения в форме двух уголков (рис. 1, *б*) часто проектируют в фермах с небольшими усилиями (в лёгких стропильных фермах, мачтах). Замкнутые сечения (рис. 1, *в*) целесообразны в тонкостенных конструкциях и в элементах, где требуется повышенное сопротивление кручению. Сечения, приведённые на рис. 1, *г*, *д*, встречаются в крановых фермах, в которых верхние пояса кроме силы сжатия испытывают изгибающие моменты. Двустенчатые конструкции (рис. 1, *е*, *ж*) применяют при средних и больших усилиях (в стропильных и крановых фермах).

Сечения в виде двутавра (рис. 1, *з*) применяют в мостовых пролетных строениях. Трубчатая конструкция (рис. 1, *и*) является рациональной с точки зрения требований прочности и экономичности. Требуемая площадь

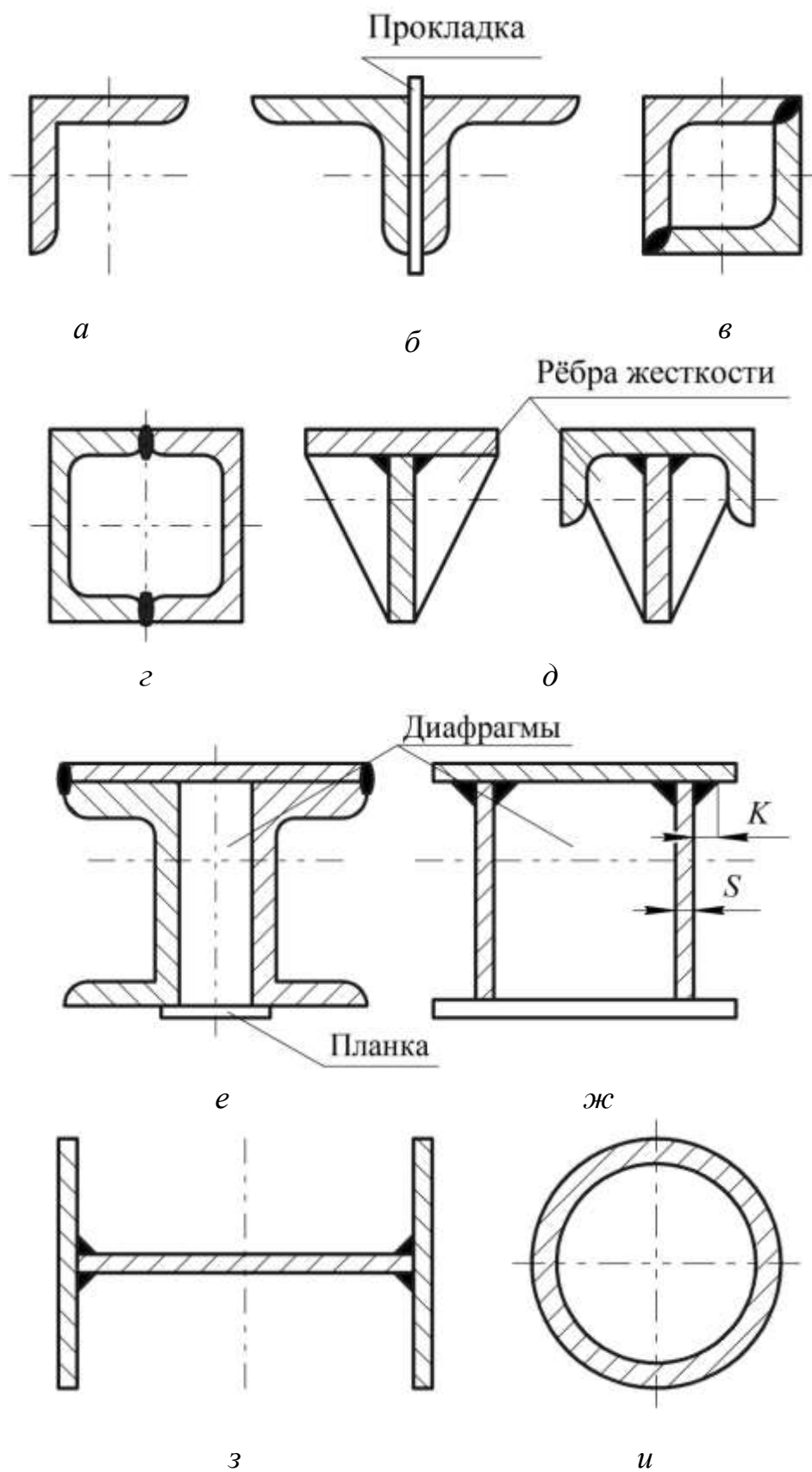


Рис. 1. Виды поперечных сечений сжатых поясов ферм

сжатого элемента пояса при отсутствии момента определяется из условия:

$$F_{\text{тр}} = \frac{N}{[\sigma]_p \cdot \varphi}, \quad (1)$$

где  $N$  – расчётная продольная сила;

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба.

При подборе сечения следует предварительно задаться коэффициентом  $\varphi = 0,5 \dots 0,7$ . Свободная длина стержня берётся в зависимости от конструкции сооружения. Например, в стропильных фермах горизонтальная жёсткость ферм обеспечивается постановкой горизонтальных связей. При этом свободную длину пояса принимают равной расстоянию между центрами узлов.

Напряжение в подобранном сечении должно быть:

$$\sigma = \frac{N}{F \cdot \varphi} \leq [\sigma]_p \cdot \varphi \quad (2)$$

Допускается отклонение  $\sigma$  от  $[\sigma]_p$  в пределах  $\pm 5 \%$ .

В стержнях, сечения которых приведены на рис. 1 сварные швы конструируют непрерывными. Их выполняют обычно автоматической сваркой под флюсом, при этом катет шва принимают  $k = (0,4 \dots 0,5)S$ , где  $S$  – толщина листа.

Если на панели фермы отсутствует нагрузка, то поперечная сила в ней  $Q=0$ . При расчёте швов определяется условная поперечная сила, которая вычисляется по следующей эмпирической зависимости:

$$Q = (20 \dots 40)F, \quad (3)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения.

В формуле (3) число 20 подставляют для материалов из малоуглеродистой стали и сплавов типа АМг6. При расчёте конструкций из Ст5, сталей типа 15ХСНД целесообразно подставлять цифру 40.

Обычно величина  $Q$  незначительна, поэтому напряжения на швах пояса также имеют небольшую величину. Они вычисляются по формуле:



$$\tau = \frac{Q \cdot S}{J \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot k}, \quad (4)$$

где  $J$  – момент инерции поперечного сечения;

$k$  – катет шва;

$S$  – статический момент вышележащей части пояса относительно центра тяжести пояса.

## 2.2. Подбор сечений растянутых поясов

Проектирование поперечных сечений растянутых поясов значительно проще, чем сжатых, т. к. в этом случае допускаемое напряжение в металле не зависит от гибкости элементов.

Требуемая площадь поперечного сечения при растяжении определяется по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \frac{N}{[\sigma]_p} \quad (5)$$

Виды поперечных сечений растянутых поясов приведены на рис.2. Сечения в форме уголка (рис. 2, а) применяют для слабонагруженных и ненагруженных элементов. Сечения в форме двух уголков с прокладкой и тавра (рис. 2, б, в) применяют в стропильных и крановых фермах. Двустенчатые конструкции (рис. 2, г, д, е) применяют тогда, когда сечения верхних поясов ферм составлены из двух стенок. Двутапировые сечения (рис. 2, ж) применяют в пролетных строениях мостов.

Катеты швов, приведённых на рис. 2, принимают  $k = 4 \dots 5$  мм, они непрерывные и их следует выполнять автоматической сваркой под флюсом.

## 2.3. Подбор сечений раскосов и стоек

В растянутых раскосах и стойках требуемая площадь поперечного сечения определяется по формуле (5), а в сжатых – по формуле (1).

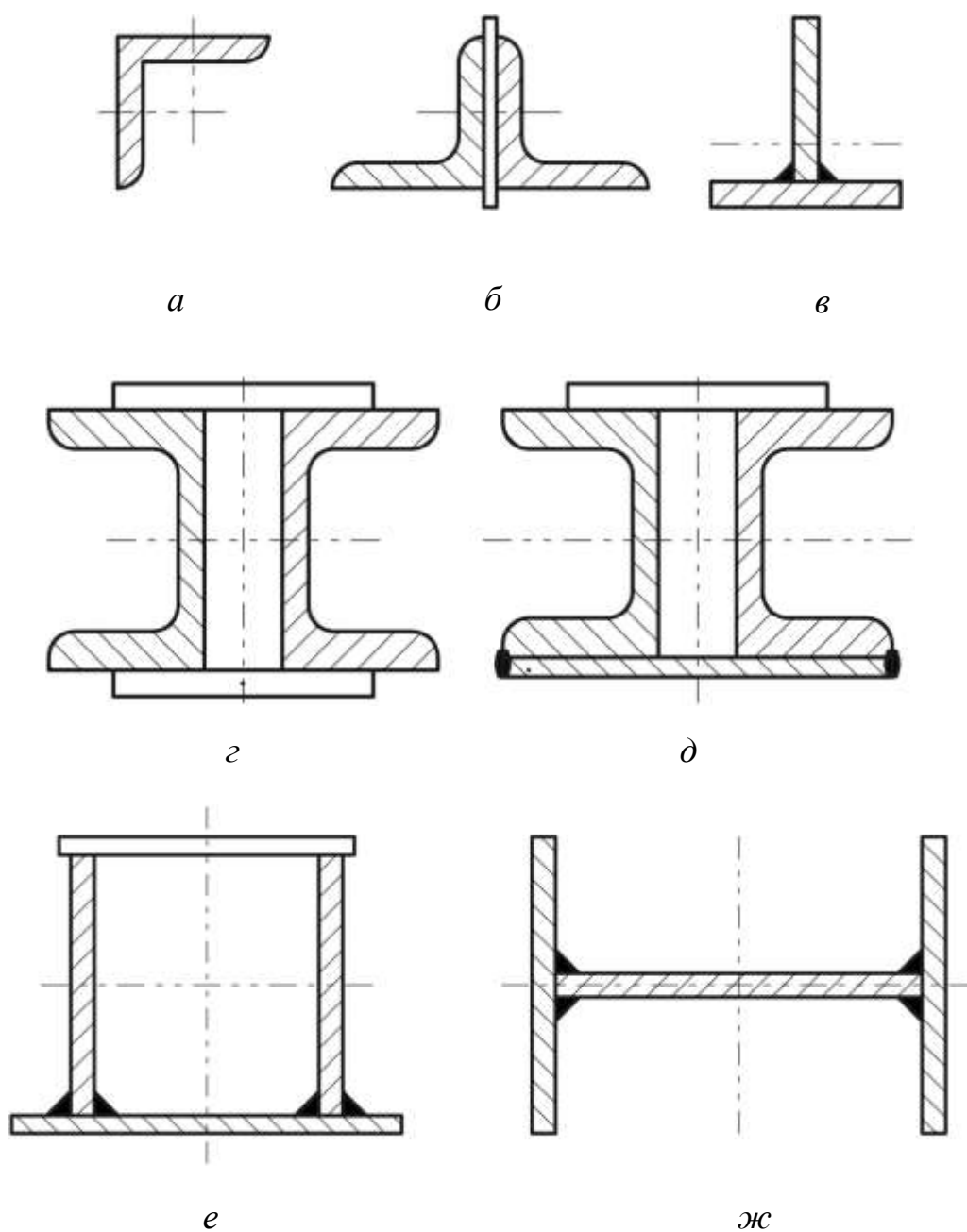


Рис. 2. Виды поперечных сечений растянутых поясов фермы

Виды поперечных сечений раскосов и стоек приведены на рис.3. Одиночный уголок (рис. 3, *a*) применяют тогда, когда элементы поясов тоже сконструированы из уголка. Уголки с прокладкой (рис. 3, *б*) наиболее

распространены в фермах, работающих под лёгкими и средними нагрузками. Для сжатых элементов применяют сечения, приведённые на рис. 3, в, г).

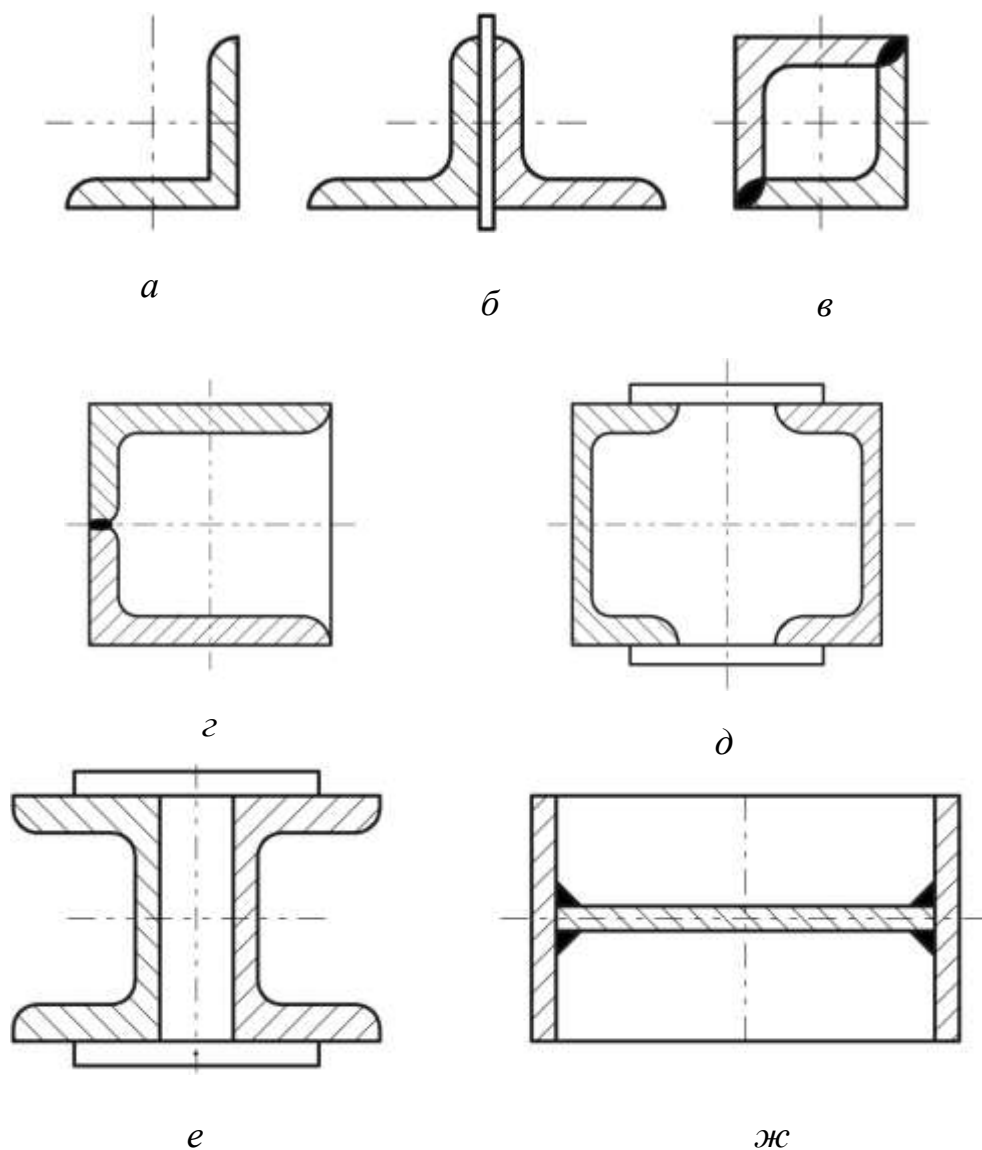


Рис. 3. Виды поперечных сечений сжатых и растянутых раскосов и стоек

Широко применяются также и двустенчатые сечения (рис. 3, д, е). Для мостовых ферм целесообразны сечения, приведённые на рис. 3, ж.

*Гибкостью*  $\lambda$  называют отношение свободной длины элемента  $\ell$  к радиусу инерции  $i$  поперечного сечения гибкого элемента:

$$\lambda = \ell/i \quad , \quad (6)$$

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}} \quad (7)$$

При вычислении гибкости раскосов и стоек в плоскости, перпендикулярной ферме, свободную длину  $l$  принимают равной теоретической, т. е. расстоянию между центрами узлов. При вычислении гибкости этих элементов в плоскости фермы допускается принимать свободную длину, равную 0,8 от теоретической длины раскосов и стоек (это объясняется наличием частичного защемления элементов в узлах).

Если поперечное сечение элемента состоит из двух ветвей, как показано на рис. 3 *д, е*, то определяются следующие гибкости:

$\lambda_x$  – относительно оси  $X$ ;

$\lambda_y$  – относительно оси  $Y$ ;

$\lambda_0$  – приведённая, равная  $\lambda_0 = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$  ( $\lambda_1$  – гибкость ветви, которую для сжатых элементов принимают  $\leq 40$ ).

Площадь сечения каждого раскоса и стойки подбирают независимо от других. Однако часто, для того чтобы сохранить один и тот же сортмент, для ряда элементов решётки фермы (раскосов, стоек) площадь сечения принимают одинаковой.

Прочность сварных швов в растянутых элементах не рассчитывается, в сжатых элементах (рис. 3, *в, г, ж*) прочность необходимо проверять. Катет шва, как правило, назначается равным 4...5 мм, но не менее 0,3*S*.

Расстояние между планками берётся таким, чтобы гибкость ветви растянутого элемента была  $\leq 200$ . Расчёт прочности соединительных планок (рис. 3, *д, е*) в сжатых элементах проводится также, как планок на сжатых стойках.

В случае составных элементов фермы их совместная работа обеспечивается постановкой прокладок на расстоянии  $l$ , равном 40 радиусам

инерции сечения для сжатых элементов или 80 радиусам инерции для растянутых (рис. 4).

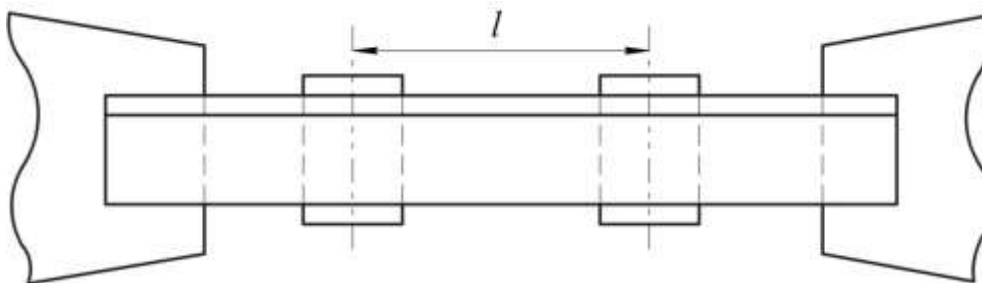


Рис. 4. Схема расположения прокладок в составных элементах фермы

Требуемая длина сварных швов рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{N}{0,7k[\tau']} \quad , \quad (8)$$

где  $[\tau']$  – допускаемое напряжение на срез в сварном шве.

Полученные результаты подбора сечений элементов фермы приводятся в виде табл.2.

Таблица 2

**Сводные данные поперечных сечений стержней фермы**

Обозначение стержня	Состав сечения (рисунок)	№ профиля, размеры, мм	Площадь $F$ , $\text{см}^2$	Радиус инерции $i$ , см	Гибкость $\lambda$	Усилие $N$ , кН	Расчетное напряжение $\sigma$ , МПа

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для проверки полученных студентами знаний по овладению методикой проектирования и рационального подбора поперечного сечения сварной фермы предлагается выполнить практические задания, представленные на рис. 1-4 и табл.3

Таблица 3

**Варианты практических заданий по расчету и проектированию  
поперечного сечения сварной фермы**

№ задания	Вид поперечного сечения	Усилие $N$ , кН	Свободная длина стержня $l$ мм	Катет шва $k$ , мм	Способ сварки	Материал
1	Рис.1,б	30000	1760	7	Автоматич.	Ст5
2	Рис.1,в	21000	1510	5	Ручная	Ст3
3	Рис.1,г	40000	2300	6	Полуавтом.	15ХСНД
4	Рис.1,д	55000	1830	8	Автоматич.	Ст2
5	Рис.2,в	15000	1420	5	Полуавтом.	АМг6
6	Рис.2,г	60000	2470	10	Автоматич.	16ГС
7	Рис.2,е	90000	2330	7	Автоматич.	15ХСНД
8	Рис.3,б	18000	1450	4	Ручная	Ст2
9	Рис.3,г	25000	2040	6	Полуавтом.	Ст5
10	Рис.3,е	50000	2670	9	Автоматич.	Ст20
11	Рис.1,б	21500	1280	5	Ручная	Ст3
12	Рис.1,г	30000	1760	6	Полуавтом.	16ГС
13	Рис.2,г	65000	2220	10	Автоматич.	15ХСНД
14	Рис.3,б	11000	1380	5	Полуавтом.	АМг6

#### 4.ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

- 1) Что называется гибкостью элемента конструкции?
- 2) Чему равна предельная гибкость элементов фермы?
- 3) Какой вид поперечного сечения применяется в слабонагруженных фермах?
- 4) Какой вид поперечного сечения применяется в сильнонагруженных фермах?
- 5) Как определяется требуемая площадь поперечного сечения фермы?
- 6) Когда в расчетах необходимо учитывать коэффициент продольного изгиба?
- 7) На какую величину допускается отклонение расчетного напряжения в подобранном сечении фермы?
- 8) От чего зависит длина сварного шва подобранного сечения фермы?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

### РАСЧЕТ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ШВОВ СВАРНЫХ СТОЕК

#### 1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Овладеть методикой расчета и проектирования соединительных элементов и сварных швов стоек.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

##### 2.1. Расчет соединительных элементов стоек

Расчет ведут по перерезывающей силе  $Q$ . Для случаев, когда сила мала или отсутствует, расчет ведут по фиктивной перерезывающей силе:

$$Q_{\text{ф}} = K_{\text{м}} F , \quad (1)$$

где  $F$  – площадь сечения стойки;

$K_{\text{м}}$  – коэффициент, зависящий от материала (для малоуглеродистых сталей и алюминиевых сплавов  $k=20$ , для низколегированных конструкционных сталей  $k=40$ ).

Чтобы обеспечить совместную работу ветвей стоек составного сечения, их соединяют планками (рис.1,а) или раскосной решеткой (рис.1, б,в)

Соединительные планки в стойках применяют при небольшом  $b$  (при  $h_x \leq 0,8$  м). При больших разносах планки не экономичны. Раскосную решетку применяют при большом разноре ветвей (при  $h_x \geq 0,8$  м).

Планки должны быть жесткими, что обеспечивается выполнением следующих условий (рис. 1, а):

$$\text{высота планки} \quad h_{\text{пл}} \geq b/2 , \quad (2)$$

$$\text{толщина планки} \quad \delta_{\text{пл}} \geq b_0/50 \quad (3)$$

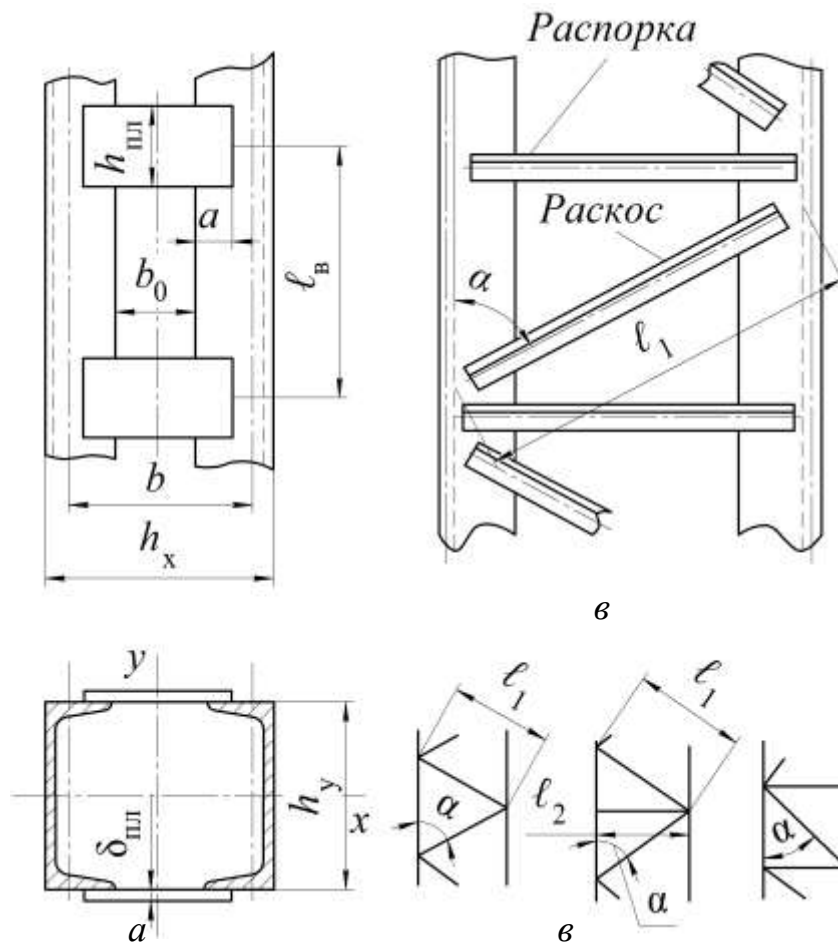


Рис. 1. Соединительные элементы стоек:  
*a* – планки; *б, в* – раскосная решетка

При этом толщина планки  $\delta_{пл}$  должна быть не менее 6...8 мм. В каждой планке возникает перерезывающая сила  $T$ , которая при парных планках (рис. 2, *a*) определяется по формуле:

$$T = \frac{Ql_B}{2b} . \quad (4)$$

Максимальный момент в планке определяют по формуле:

$$M_{пл} = T \frac{b}{2} = \frac{Ql_B}{4} . \quad (5)$$

Напряжения в планке рассчитывают по формуле:



$$\sigma = \frac{M_{\text{пл}}}{W} = \frac{6M_{\text{пл}}}{\delta_{\text{пл}} h_{\text{пл}}^2} \quad (6)$$

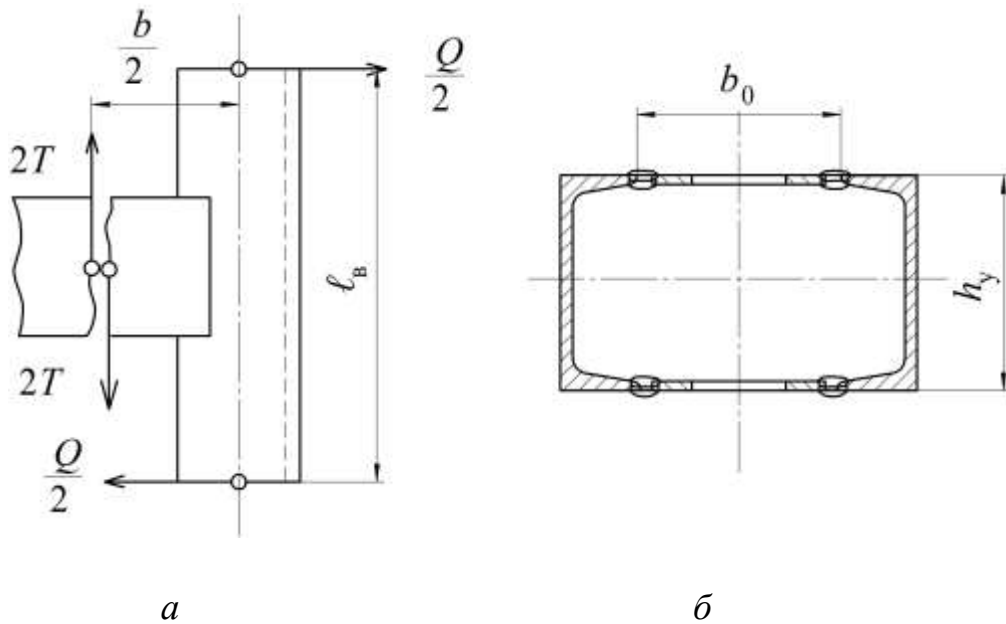


Рис. 2. Расчетные схемы при соединении планок к ветвям:  
*a* – нахлесточное соединение; *б* – стыковое соединение

Из формулы (6) высота планки:

$$h_{\text{пл}} = \sqrt{\frac{6M_{\text{пл}}}{[\sigma]\delta_{\text{пл}}}} \quad (7)$$

Назначая  $h_{\text{пл}}$  по соотношению (2), проверяем ее по формуле (7) и, если нужно, увеличивают высоту.

В стойках с малым разном ветвей сечение планки получается небольшим и его необходимо проверять на срез от силы  $T$ :

$$\tau_T = 1,5 \frac{T}{h_{\text{пл}} \delta_{\text{пл}}} \leq [\tau] \quad (8)$$

Величину нахлестки планок (рис.1, *a*) выбирают  $a = 40 \dots 50$  мм. Катет угловых швов, прикрепляющих планки, назначают  $k = (0,5 \dots 0,8) \delta_{\text{пл}}$ .

Шов, прикрепляющий планку, проверяют по напряжениям от действия перерезывающей силы и момента:

$$\tau = \frac{T}{0,7 K h_{\text{пл}}} \quad (9)$$

$$M_T = T \frac{b}{2} = \frac{Q \ell_B}{4}. \quad (10)$$

Напряжения от момента рекомендуют определять по методу расчленения на составляющие:

$$\tau_M = \frac{M_T}{0,7 K \alpha (h_{\text{пл}} + K) + \frac{0,7 K h_{\text{пл}}}{6}}. \quad (11)$$

$$\tau_{\text{экв}} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_Q^2} \leq [\tau'], \quad (12)$$

где  $[\tau']$  – допускаемое напряжение на срез для сварного соединения (см. табл. 1).

*Таблица 1*  
**Допускаемые напряжения и расчетные сопротивления для сварных соединений**

Тип шва	Род усилий	Дуговая автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом, в защитных газах		Ручная дуговая сварка	
		Допускаемое напряжение	Расчетное сопротивление	Допускаемое напряжение	Расчетное сопротивление
Стыковой	Растяжение	$[\sigma]_p = [\sigma]$	$R'_p = R$	$[\sigma]_p = 0,9[\sigma]$	$R'_p = 0,9R$
	Сжатие	$[\sigma]_c = [\sigma]$	$R'_c = R$	$[\sigma]_c = [\sigma]$	$R'_c = R$
	Срез	$[\tau] = 0,65[\sigma]$	$R'_{cp} = 0,65R$	$[\tau] = 0,6[\sigma]$	$R'_{cp} = 0,6R$
Угловой	Срез	$[\tau] = 0,65[\sigma]$	$R'_{cp} = 0,65R$	$[\tau] = 0,6[\sigma]$	$R'_{cp} = 0,6R$

Если планки привариваются стыковыми соединениями (рис. 2, б), то момент определяют по формуле:

$$M_T = T \frac{b_0}{2}. \quad (13)$$

Проверку проводят по эквивалентным напряжениям:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sigma_M^2 + 3\tau_T^2} \leq [\sigma']_p, \quad (14)$$

где  $[\sigma']_p$  – допускаемое напряжение при растяжении для сварного соединения (см. табл. 1).

Расчет элементов раскосной решетки (рис. 1, б, в) ведут по сжимающей силе  $N$ , которую определяют по формулам:

$$\text{для распорок} \quad N_{\text{расп}} = Q/2, \quad (15)$$

$$\text{для раскосов} \quad N_{\text{раск}} = Q/2 \sin \alpha, \quad (16)$$

где  $Q$  – половина перерезывающей силы при парной решетке.

Если решетка не парная, а стоит только в одной (осевой) плоскости стойки, то нужно брать полную  $Q$ . Угол  $\alpha$  не должен выходить за пределы  $35 \dots 65^\circ$  (для простой треугольной решетки оптимальным является угол  $\alpha = 50 \pm 10^\circ$ , для треугольной с распорками и раскосной решеткой  $\alpha = 45 \pm 10^\circ$ ).

Элементы решетки обычно проектируют из одинарных равнобоких уголков сечением не менее  $45 \times 45 \times 5$  мм. Требуемую площадь сечения  $F_{\text{треб}}$  подбирают по ГОСТ из соответствующего прокатного сортамента. Затем выбранное сечение проверяется по допускаемым напряжениям:

$$\sigma = \frac{N_{\text{сж}}}{F\varphi_{\text{min}}} \leq [\sigma] \quad (17)$$

Коэффициент продольного изгиба уголка  $\varphi_{\text{min}}$  для уголка берется по справочнику в зависимости от значения гибкости  $\lambda$ .

Гибкость  $\lambda$  элементов решетки стойки ограничена и не должна превышать 150. Сварные соединения, прикрепляющие решетку к ветвям стойки, должны обеспечить передачу усилий  $N$ , определяемых по формулам (15) и (16).

## 2.2. Расчет сварных соединений стоек

Тавровые соединения поясов стоек выполняются угловыми швами. Катеты швов назначают минимальными, чтобы уменьшить сварочные деформации, напряжения и снизить трудоемкость. Размер минимального катета определяют по формуле:

$$k_{\min} \geq \frac{\delta_{\min}}{2} = \frac{\delta_{\text{ст}}}{2} \quad (18)$$

Поясные швы выполняют сплошными автоматической сваркой под флюсом по ГОСТ8713–79.

С целью исключения образования деформаций закручивания и грибковидности сечения стойки необходимо соблюдать последовательность выполнения сварных швов (рис. 3). Сварка в специальных кондукторах или применение жестких прихваток позволяют устранить этот дефект.

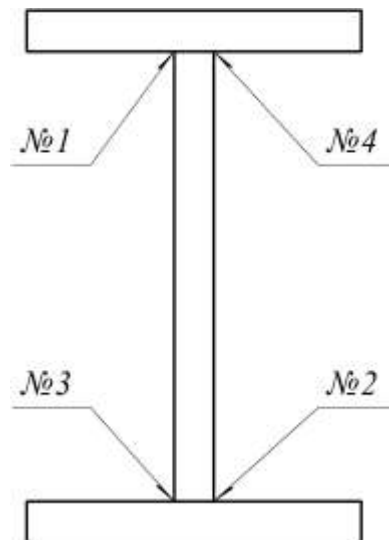


Рис. 3. Последовательность выполнения поясных угловых швов

Проверку прочности сварных швов по касательным напряжениям проводят по следующим формулам:

для одностороннего шва  $\tau = \frac{Q_{\phi} S}{J \beta k}$ , (19)

для двустороннего шва  $\tau = \frac{Q_{\phi} S}{2J \beta k}$ , (20)

где  $S = \delta_{\text{п}} b_{\text{п}} \frac{b_x}{2}$  – статический момент половины площади пояса

относительно центра тяжести сечения стойки;

$J$  – момент инерции всего сечения;

$\beta$  – коэффициент, зависящий от способа сварки (при ручной сварке, многопроходной автоматической и многопроходной п/авт. сварке  $\beta=0,7$ ; при п/авт. сварке  $\beta=0,9$ ; при автоматической сварке  $\beta=1,1$ );

$k$  – катет шва.

Полученное расчетное значение касательных напряжений должно удовлетворять условию:  $\tau \leq 0,65[\sigma]$ .

Для обеспечения жесткости стенок стойки необходима постановка ребер. Условную гибкость стенки определяют из соотношения:

$$K_y = \frac{b_{\text{ст}}}{\delta_{\text{ст}}} \quad (21)$$

В стойках сплошного сечения, чтобы обеспечить устойчивость стенки при условной гибкости стенки  $K_y = b_{\text{ст}} / \delta_{\text{ст}} > 65$  для малоуглеродистых сталей (для низколегированных сталей и алюминиевых сплавов  $K_y > 55$ ), ставят вертикальные ребра жесткости толщиной  $\delta_{\text{р}} \geq 0,75\delta_{\text{ст}}$  и шириной  $b_{\text{р}} \geq 10\delta_{\text{р}}$ . Ребра жесткости изготавливают из полосы по ГОСТ 103–76 и приваривают к стенке сплошными тавровыми швами минимального катета.

Поперечные парные ребра жесткости, выполняющие роль промежуточных диафрагм, ставятся по высоте через каждые:

$$(2,5 \dots 3)h_x = (2,5 \dots 3) \cdot 0,596 = 1,5 \dots 1,8 \text{ м}$$

Ширину ребра жесткости определяют из соотношения:

$$b_p \geq \frac{h_x}{30} + 40 \text{ мм} \quad (23)$$

Толщину ребра жесткости из определяют соотношения:

$$\delta_p \geq \frac{b_p}{15} \quad (24)$$

На практике при проектировании стоек сплошного сечения наиболее широкое применение нашли технологические схемы с прямым (рис. 4, а) и разведенными (рис. 4, б) сварными стыками. При больших нагрузках стойку необходимо усиливать путем дополнительной приварки накладок и планок (рис. 4, в).

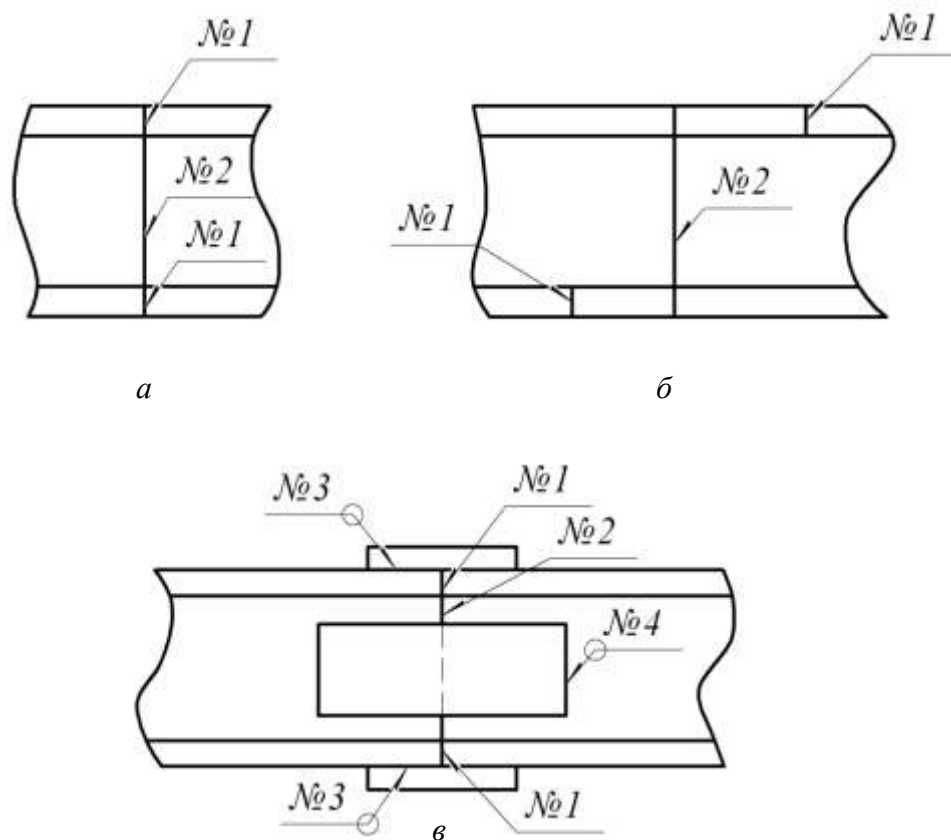


Рис. 4. Технологические схемы сварных стыков стойки сплошного двутаврового поперечного сечения: а – прямой стык ; б – разведенный стык; в – стык с накладками и планками

Расчет прочности стыков для прямых швов производится по следующим формулам:

$$\text{при сжатии} \quad \sigma = \frac{P}{F_{\text{ш}}} = \frac{P}{\delta \ell} \leq [\sigma]_c ,$$

$$\text{при изгибе} \quad \sigma = \frac{M}{W_{\text{ш}}} = \frac{6M}{\delta \ell^2} \leq [\sigma]_p ,$$

где  $\delta$  и  $\ell$  – соответственно толщина и длина сварного шва.

Равнопрочность швов обеспечивается двусторонней автоматической сваркой в стык под флюсом или полуавтоматической сваркой в среде защитных газов. Сварку ведут с применением входных и выходных планок. Примеры подготовки кромок технологических стыков и тип сварного соединения для дуговой сварки в защитном газе согласно ГОСТ 14771–76 показаны на рис. 5.

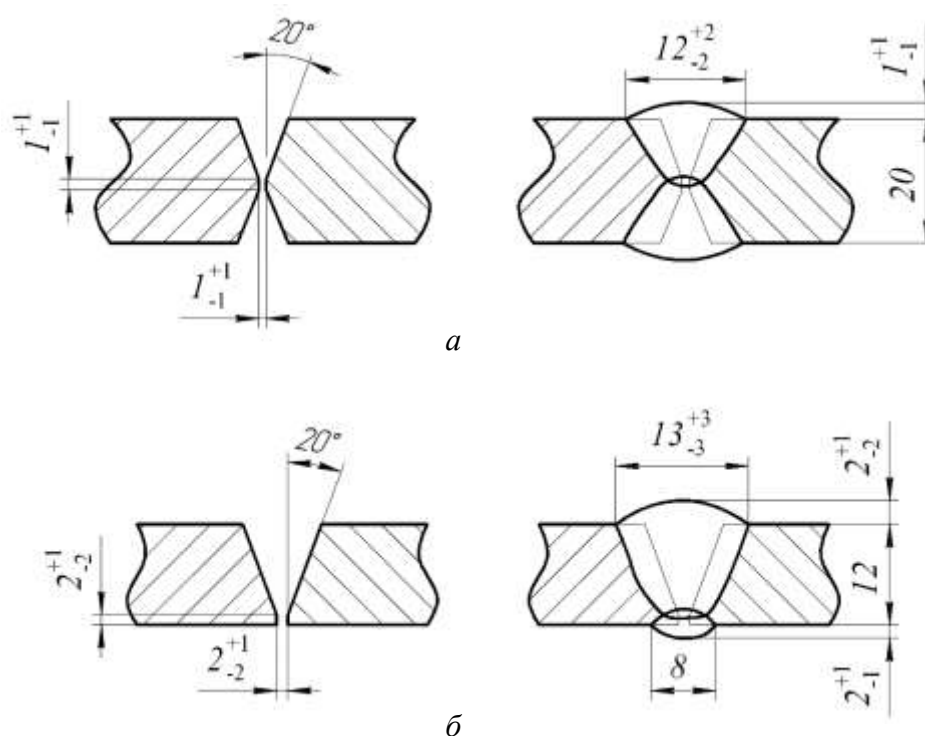


Рис. 5. Конструктивные размеры подготовки кромок и тип сварного соединения стыковых швов пояса (а) и стенки (б)

В случаях применения сварных стыков с накладками и планками в расчетах необходимо ставить значение усиленного момента сопротивления  $W_{ш}^y$  поперечного сечения стойки.

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для проверки полученных студентами знаний по овладению методикой расчета и проектирования соединительных элементов и сварных швов стоек предлагается выполнить практические задания, представленные на рис. 1, 2 и табл. 2.

Таблица 2

**Варианты практических заданий по расчету и проектированию соединительных элементов и сварных швов стоек**

№ задания	Вид соединительных элементов стойки	Перерезывающая сила $Q$ , кН	Ширина пояса стойки $h_x$ , мм	Высота сечения профиля $h_y$ , мм	Способ сварки	Материал
1	Рис. 1, а	10000	700	100	Ручная	Ст2
2	Рис. 1, в	25000	1100	250	Автоматич.	Ст5
3	Рис. 1, а	8000	450	150	Полуавтом.	15ХСНД
4	Рис. 1, в	33000	900	300	Автоматич.	Ст2
5	Рис. 2, а	11000	350	200	Полуавтом.	Ст40
6	Рис. 2, в	30000	1200	350	Автоматич.	16ГС
7	Рис. 2, а	7000	500	200	Автоматич.	Ст5
8	Рис. 3, в	18000	850	300	Ручная	Ст2
9	Рис. 3, а	15000	600	150	Полуавтом.	10ХСНД
10	Рис. 3, в	27000	950	250	Автоматич.	Ст20
11	Рис. 1, а	10000	450	100	Ручная	Ст3
12	Рис. 1, в	30000	1000	350	Полуавтом.	16ГС
13	Рис. 2, а	7000	420	150	Автоматич.	15ХСНД
14	Рис. 3, в	21000	800	200	Полуавтом.	Ст3

### 4. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

- 1) Какие соединительные элементы применяют в стойках?
- 2) Чему равно допускаемое напряжение на растяжение для сварного шва при автоматической сварке под флюсом?
- 3) Чему равно допускаемое напряжение на срез сварной шов при ручной дуговой сварке?
- 4) Какое значение угла  $\alpha$  назначают для стоек с раскосной решеткой?
- 5) Перечислить технологические схемы сварных стыков стоек.



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

### РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОЛИКОВЫХ СТЕНДОВ

#### 1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Ознакомиться с устройством, принципом работы и методикой расчета роликового стенда для сборки и сварки конструкций.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

##### 2.1. Назначение и устройство роликового стенда

Роликовый стенд предназначен для вращения цилиндрических изделий во время сварки или наплавки. Основным элементом роликовых стендов являются роликоопоры, которые могут быть приводными (ведущими) и холостыми. В сварочном производстве в основном применяются две схемы расположения роликоопор (рис. 1):

а) стенд, у которого один ряд роликов приводной, а другой – холостой; в данной схеме ведущие ролики насажены на общий приводной вал и снабжены резиновыми грузошинами для увеличения силы сцепления с вращаемыми изделиями;

б) стенд, у которого все ролики приводные; данная схема применяется для изделий с эксцентрично расположенным центром тяжести, вследствие чего возможно буксование роликов; сцепное окружное усилие стенда вдвое больше, чем у стенда по первой схеме; кроме того, данная схема имеет узкий диапазон диаметров свариваемых изделий из-за невозможности изменения расстояния между двумя рядами приводных роликов.

Роликоопоры подразделяются на следующие три основных типа: – приводные роликоопоры, которые выпускаются в нормальном исполнении с выпущенными наружу хвостовиками вала и муфтами для соединения

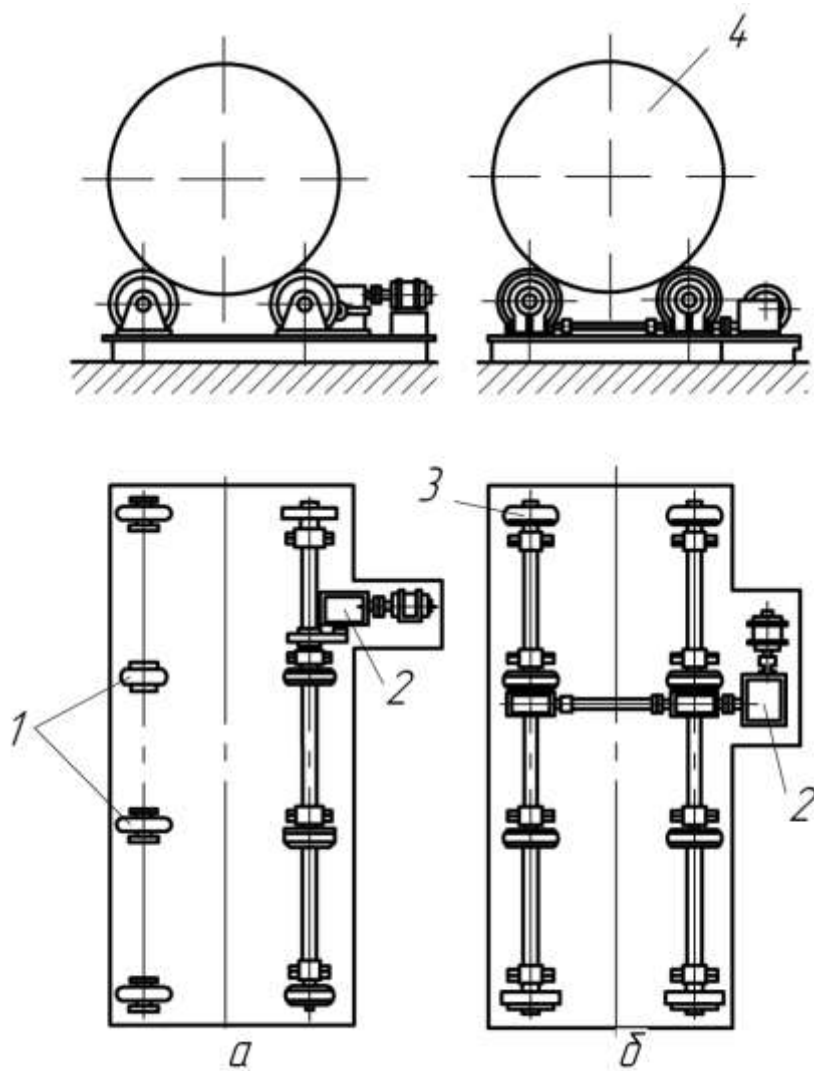


Рис. 1. Схемы роликовых стендов с холостыми (а) и приводными роликами (б):  
 1 – холостые роликсопоры; 2 – электропривод; 3 – приводные роликсопоры

с главным приводным валом и соединениями, а также со встроенным червячным редуктором и валом, имеющим хвостовики для соединения с главным приводным валом и соседними роликами.

- нормальные холостые роликсопоры на подшипниках качения;
- передние холостые роликсопоры, позволяющие быстро менять расстояние между рядами роликов, т. е. путем перекидки роликов перестраивать стенд на другой диапазон диаметров свариваемых изделий.

Все ролики, как правило, снабжены резиновыми грузошинами. В приводных роликах это необходимо для увеличения силы сцепления и

плавного вращения изделия, а в холостых – для удовлетворения требованиям унификации.

Из тех же соображений унификации ось холостой роlikоопоры делается вращающейся, а не неподвижной, т. к. в приводных роlikоопорах (соединенных общим валом) иная система невозможна.

Применяя типовые, унифицированные роlikоопоры и приводы можно осуществлять монтаж разнообразных роlikовых стенов, отличающихся своими размерами, грузоподъемностью и назначением.

## 2.2. Расчет роlikовых стенов

При расчете допустимый диапазон диаметров для заданного расстояния  $L$  между роlikоопорами ограничивается двумя крайними (опасными) состояниями изделия на стеноде:

- при чрезмерно большом диаметре по сравнению с величиной  $L$  и, следовательно, при очень малом центральном угле  $\alpha$  положение изделия на стеноде может оказаться неустойчивым, особенно если центр тяжести изделия не совпадает с центром его окружности;
- при очень малом диаметре вращаемого барабана по сравнению с величиной  $L$  угол  $\alpha$  будет чрезмерно велик и может возникнуть явление затяжки барабана с последующим его заклиниванием и даже поломкой стенода.

Расчетные схемы наиболее распространенного роlikового стенода с одним рядом приводных роlikоопор представлены на рис. 2. Активная внешняя нагрузка стенода состоит из центральной силы  $G$ , равной весу вращаемого изделия, и грузового момента  $M_{кр} = Ge$ . В статическом состоянии стенода при  $e = 0$  сила  $G$  создает на роlikоопорах опорные реакции  $Q$ , зависящие от угла  $\alpha$ :

$$Q = \frac{G}{2\cos/2} \quad (1)$$

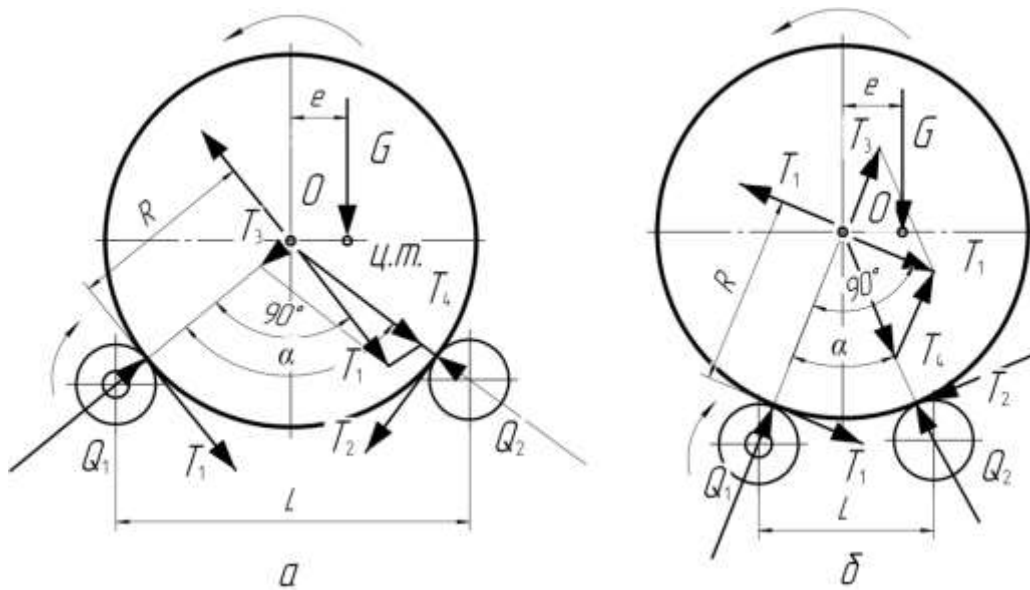


Рис. 2. Расчетные схемы роликового стэнда:  
*a* – при  $\alpha > 90^\circ$ ; *b* – при  $\alpha < 90^\circ$ ;

Эту же величину можно выразить в зависимости от диаметра изделия  $D$ , поперечного расстояния между роликоопорами  $L$  и диаметром роликов  $D_p$ :

$$Q = G \frac{D + D_p}{2\sqrt{(D + D_p)^2 - L^2}} \quad (2)$$

В практике проектирования роликовых стэндов часто допускается ошибка, заключающаяся в том, что для определения максимальной нагрузки на роликоопоры  $Q_{\max}$  по формуле (1) применяется наибольший заданный вес изделия  $G_{\max}$  при максимально допускаемом значении центрального угла  $\alpha_{\max} = 120^\circ$ . Это нередко влечет за собой недопустимое чрезмерное завышение расчетной нагрузки на роликоопоры и их валы. Поэтому при определении расчетной нагрузки на роликоопоры необходимо из заданной номенклатуры изделий выбрать не наибольшее по весу, а такое, при котором получаются максимальные значения опорных реакций и момента  $G \cdot e$ .

Во время вращения изделия на приводных роликах возникает окружное усилие  $T_1$ . Чтобы оценить влияние этого усилия на опорные ре-

акции роликов  $Q$ , приложим к центру вращаемого барабана  $O$  две равные и прямо противоположные силы  $T_1$ . Одна из них, в паре с окружным усилием на роликах, образует момент  $T_1R_1$ , вращающий барабан вокруг оси  $O$ , другую силу раскладываем по направлениям опорных реакций на две составляющих  $T_3$  и  $T_4$ . Следовательно, под действием окружного усилия  $T_1$  к основным опорным реакциям роликов  $Q$  добавляются силы:  $\pm T_3$  – на ведущие роликкоопоры и  $T_4$  – на ведомые, холостые роликкоопоры. Аналогичное действие производит сила  $T_2$ , добавляя к опорным реакциям силы  $T_3$  и  $T_4$ . Таким образом, суммарные опорные реакции на приводных и холостых роликкоопорах будут равны:

$$Q_1 = Q + T_3; \quad Q_2 = Q + T_4 \quad (4)$$

Согласно рис. 2 имеем:

$$T_3 = -T_1 / \operatorname{tg}\alpha; \quad T_4 = T_1 / \sin\alpha; \quad T_3 = T_2 / \sin\alpha; \quad T_4 = -T_2 / \operatorname{tg}\alpha \quad (5)$$

Подставив в формулы (4) найденные значения  $Q$ ,  $T_3$  и  $T_4$ , получим следующие выражения для опорных реакций:

$$Q_1 = \frac{G}{2\cos\alpha/2} - \frac{T_1}{\operatorname{tg}\alpha} + \frac{T_2}{\sin\alpha}; \quad (6)$$

$$Q_2 = \frac{G}{2\cos\alpha/2} + \frac{T_1}{\operatorname{tg}\alpha} - \frac{T_2}{\sin\alpha}; \quad (7)$$

Условие равновесия моментов относительно оси вращаемого барабана запишется как  $T_1R = Ge + T_2R$ , откуда:

$$T_1 = G \frac{e}{R} + T_2, \quad (8)$$

где  $R$  – радиус вращаемого барабана;

$T_2$  – сопротивление вращению холостых роликов.

Сопротивление вращению холостых роликкоопор определяется по формулам:

$$T_2 = Q \frac{f d_p + 2\mu}{D_p} = G \frac{\varepsilon + \sin\alpha/2}{b \sin\alpha + \cos\alpha - 1} \quad (9)$$

где  $d$  – диаметр оси ролика в подшипниках;

$f$  – коэффициент трения в подшипниках роликоопор (для подшипников скольжения  $f=0,1$ ; для подшипников качения  $f=0,02$ );

$\mu$  – коэффициент трения качения (для стальных роликов  $\mu=0,06-0,08$ ; для обрезанных  $\mu=0,25-0,35$ )

$\varepsilon = e / R$  – эксцентриситет;

$$b = \frac{D_p}{f d_p + 2\mu}$$

При вращения сбалансированных барабанов, для которых  $e=0$ , окружные силы равны и рассчитываются по формуле:

$$T_{1(\varepsilon=0)} = T_{2(\varepsilon=0)} = G \frac{\sin \alpha / 2}{b \sin \alpha + \cos \alpha - 1} \quad (10)$$

Окружные силы  $T_1$  и  $T_2$ , возникающие на стеновых роликах при вращении барабана, увеличиваются опорные реакции роликов, если барабан вращается против часовой стрелки по рис. 2, т. к. при этом силы  $T_1$  и  $T_2$  направлены вниз. Вызванная этими силами добавочная нагрузка на ролики тем больше, чем больше угол  $\alpha$  и чем выше коэффициенты  $f$  и  $\mu$ .

Если же барабан вращается в обратную сторону, то силы  $T_1$  и  $T_2$  направлены вверх и опорные реакции уменьшаются. Поэтому для определения максимальных расчетных усилий надо выбирать направление вращения приводного вала и положение центра тяжести  $G$  согласно рис. 2, т. е. с окружными усилиями  $T_1$  и  $T_2$ , направленными вниз.

Подставив значение  $\varepsilon$  в формулы (6) и (7), получим окончательные выражения для опорных реакций роликоопор при их вращения под нагрузкой:

$$Q_1 = \frac{G}{2 \cos \alpha / 2} \left( 1 - \frac{\varepsilon \cos \alpha}{\sin \alpha / 2} + \frac{\varepsilon + \sin \alpha / 2}{b \cos \alpha / 2 - \sin \alpha / 2} \right), \quad (11)$$

$$Q_2 = \frac{G}{2 \cos \alpha / 2} \left( 1 + \frac{\varepsilon \cos \alpha}{\sin \alpha / 2} + \frac{\varepsilon + \sin \alpha / 2}{b \cos \alpha / 2 - \sin \alpha / 2} \right), \quad (12)$$

или, при  $\varepsilon=0$

$$Q_1 = Q_2 = \frac{G}{2\cos\alpha/2} \left( \frac{\sin\alpha/2}{b\cos\alpha/2 - \sin\alpha/2} \right) \quad (13)$$

Анализ формул (11-13) позволяет сделать следующие выводы:

1) Для заданной силы  $G$  при  $\alpha=20\div 70^\circ$  опорные реакции роликов и окружные усилия сравнительно мало меняются, оставаясь в следующих пределах: для окружного усилия при подшипниках качения  $T_1 = 0,01G$ , при подшипниках скольжения  $T_1 = 0,02G$ ; для опорных реакций ведущих роликов  $T_1 = 0,6G$ ; холостых  $T_1 = 0,5G$ , где  $G$  – вес вращаемого изделия при нулевом дисбалансе.

2) При увеличении угла  $\alpha$  от  $70$  до  $130^\circ$  окружное усилие на роликах увеличивается вдвое, достигая значения  $0,02G$  при подшипниках качениях и  $0,04G$  при подшипниках скольжения; опорные реакции также увеличиваются вдвое, достигая значения  $1,2G$  на каждый ряд роликоопор;

3) При  $\alpha > 130^\circ$  опорные реакции и окружные усилия на роликах стремительно возрастают вплоть до катастрофических значений при углах  $160 - 165^\circ$ , поэтому допустимый верхний предел центрального угла  $\alpha$  не должен превышать  $120-130^\circ$ ;

4) Замена подшипников качения (в частности, конических роликоподшипников) на подшипники скольжения в валах и осях роликоопор влечет за собой увеличение окружного усилия, а следовательно, и мощности привода вдвое.

Наименьшее допустимое значение угла  $\alpha$  определяются условием статической устойчивости положения барабана на стенде при дисбалансе  $e > 0$ . Потеря устойчивости и опрокидывания барабана наступает при критическом для данного угла  $\alpha$  значениями эксцентриситета (рис. 3):

$$e_{кр} = R\sin\alpha/2 \quad (14)$$

Практически для устойчивого и равномерного вращения барабана на роликовом стенде следует выбирать угол  $\alpha$  не менее  $50^\circ$ , даже при нулевом дисбалансе.

Таким образом, допустимый диапазон центральных углов  $\alpha$ , в пределах которого можно безопасно работать на стенде, равен  $50 \div 120^\circ$ .

Диапазон диаметров вращаемого изделия  $D$  равен:

$$D = \frac{L}{\sin \alpha / 2} - D_p; \quad (15)$$

$$\text{при } \alpha_{\min} = 50^\circ, D_{\min} = \frac{L}{0,86} - D_p; \quad (16)$$

$$\text{при } \alpha_{\max} = 120^\circ, D_{\max} = \frac{L}{0,42} - D_p \quad (17)$$

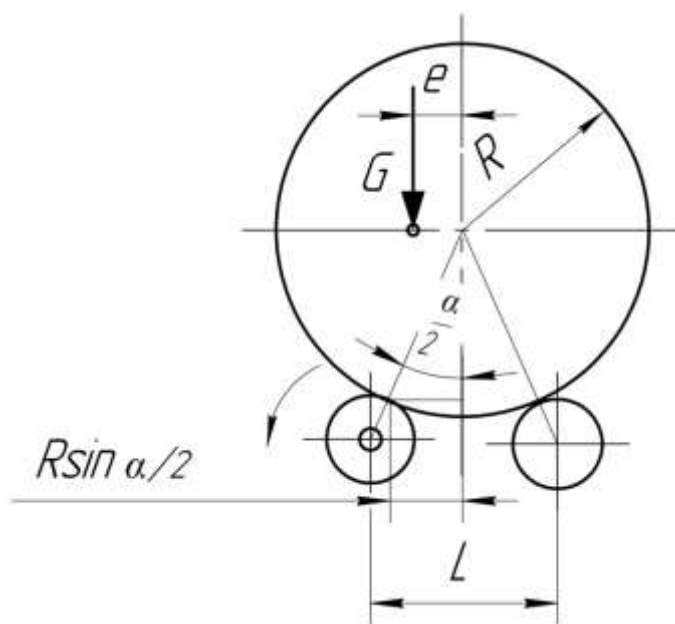


Рис. 3. Расчетная схема роликового стенда для определения критического дисбаланса изделия

При расчете типового роликового стенда с роликооппорами и размерами  $D_p = 410$  мм,  $L = 100$  мм получим диапазон диаметров  $D_{\min} = 750$  мм,  $D_{\max} = 750$  мм.



Зная величину окружных и радиальных усилий, действующих на роликкоопоры, можно рассчитать нагрузку роликов, их осей и валов:

$$P_1 = \frac{\sqrt{Q_1^2 + T_1^2}}{i_p} K_p; \quad P_2 = \frac{\sqrt{Q_2^2 + T_2^2}}{i_p} K_p \quad (18)$$

где  $P_1$  – нагрузка на одну ведущую роликкоопору;

$P_2$  – нагрузка на одну холостую роликкоопору;

$i_p$  – число роликкоопор в одном ряду;

$K_p$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки на роликкоопорах (для обрешиненных роликов при  $i_p=2$ ,  $K_p=1$ , при  $i_p \geq 3$ ,  $K_p=1,3$ ).

По наибольшей из величин  $P_1$  и  $P_2$  подбираются нормированные роликкоопоры и грузошины к ним в соответствии с действующим сортаментом.

Приводной вал ведущих роликкоопор рассчитывают на совместное действие изгибающего момента  $M_{и}$  под нагрузкой  $P_1$  и крутящего момента  $M_{кр}$ :

$$M_{кр} = T_1 \frac{D_p}{2} + \left( f \frac{d_v}{2} + \mu \right) \sqrt{Q_1^2 + T_1^2}, \quad (19)$$

где  $d_v$  – диаметр вала в подшипниках.

Эквивалентный момент на валу определяется по формуле:

$$M_{э} = \sqrt{M_{и}^2 + M_{кр}^2} \quad (20)$$

Расчетный диаметр вала:

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{10M_{э}}{[\sigma_u]}}, \quad (21)$$

где  $[\sigma_u]$  – допускаемое напряжение изгиба (для Ст.35 напряжение изгиба составляет 550 кгс/см<sup>2</sup>).

Расчетная схема вала приводной роликкоопоры представлена рис. 4. Наибольшее окружное усилие на червячном колесе  $l$  равно:

$$S = T_1 \frac{D_p}{D_H}, \quad (22)$$

где  $D_H$  – диаметр начальной окружности червячного колеса.

Необходимая мощность на приводном валу роlikоопор определяется по формуле:

$$N_B = \frac{M_{kp} n_M}{97500}, \quad (23)$$

где  $n_M$  – частота вращения вала при маршевой скорости.

Проверка запаса сцепления приводных роликов с изделием:

$$K_c = \frac{Q_1 \varphi}{T_1} \geq 3, \quad (24)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления роликов с изделием (для стальных роликов  $\varphi = 0,15$ ; для обрeзиненных  $\varphi = 0,3$ ).

В стендах с двумя приводными валами:

$$K_c = \frac{\varphi}{\varepsilon \cos \alpha / 2} \geq 3, \quad (25)$$

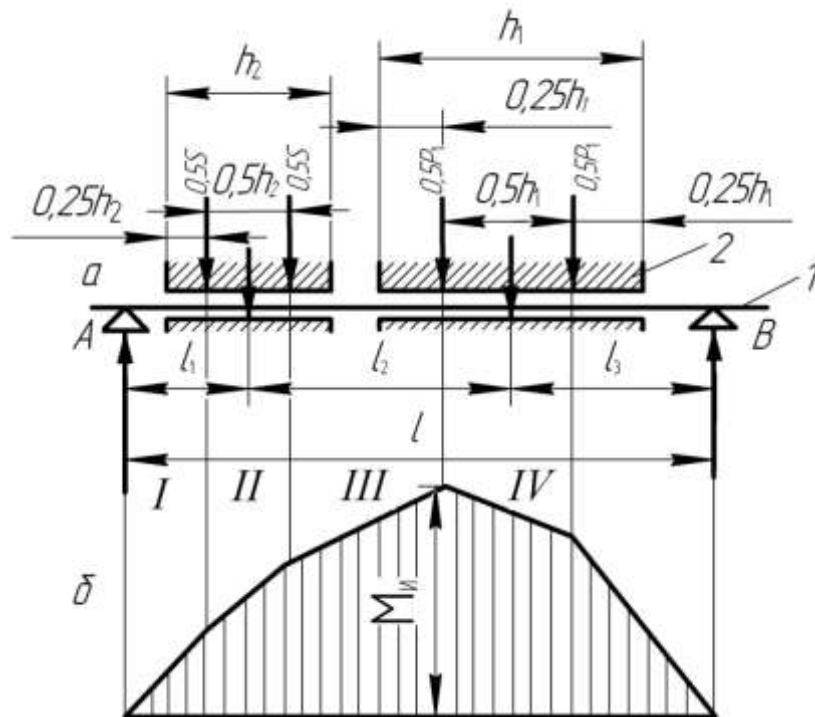


Рис. 4. Расчетная схема вала приводной роlikоопоры:  
 а – схема расположения сил; б – эпюра изгибающих моментов;  
 1 – вал; 2 – ступица ролика; 3 – ступица червячного колеса

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для проверки полученных студентами знаний по овладению методикой расчета роликового стенда для сборки и сварки конструкций предлагается выполнить практические задания, представленные в табл.1 и на рис. 2-4.

*Таблица 1*

**Варианты практических заданий по расчету роликового стенда  
для сборки и сварки конструкций**

№ задания	Вес изделия $G$ , кг	Длина изделия $l$ , мм	Диаметр изделия $D$ , мм	Смещение центра тяжести $e$ , мм	Угол $\alpha$ град.	Материал роликов
1	10000	7000	3000	200	55	Стальные
2	7500	5000	2500	100	90	Сталепрорезин.
3	13500	8500	3300	250	110	Стальные
4	4000	4500	2000	80	60	Сталепрорезин.
5	8000	6000	2600	150	80	Стальные
6	20000	11000	3500	300	70	Сталепрорезин.
7	6000	5500	2700	220	100	Стальные
8	14000	9000	3000	180	65	Сталепрорезин.
9	9000	7500	2200	260	85	Стальные
10	5000	6500	2100	170	60	Сталепрорезин.
11	12000	10500	2800	140	105	Стальные
12	15000	7000	2500	200	95	Сталепрорезин.
13	9500	8800	3000	300	55	Стальные
14	6000	6500	2000	240	75	Сталепрорезин.

### 4. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

- 1) Какие типы роlikоопор применяются в сварочных стендах?
- 2) С какой целью стальные ролики выполняют прорезиненными?
- 3) Какое максимальное значение угла  $\alpha$  назначают при расчете роликового стенда?
- 4) Что называется грузовым моментом?
- 5) Какие типы подшипников применяют на валах роlikоопор?
- 6) Какое минимальное значение угла  $\alpha$  назначают при расчете роликового стенда?
- 7) От чего зависит мощность на приводном валу роlikоопор?

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Овладение методикой назначения заготовительных операций изготовления деталей и сборочных единиц конкретного изделия согласно чертежу.

### 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1) Овладеть методикой выбора заготовительных операций при разработке технологии изготовления сварной конструкции.

2) Изучить конструкцию изделия, согласно чертежу, свойства материалов, из которых она изготавливается.

3) Овладеть методикой разбивки изделия на детали и сборочные единицы с целью возможного их изготовления на имеющемся оборудовании.

4) Назначить необходимые операции по получению соответствующей формы деталей требуемой точности по чертежу, выбрать режимы выполнения данной операции, оборудование и оснастку, обеспечивающие получение данных деталей.

5) Изучить нормативные документы, регламентирующие получение деталей требуемых размеров и формы.

6) Составить отчет по результатам выбора заготовительных операций и оборудований по каждой детали изделия. Привести кинематические схемы работы оборудования по изготовлению деталей, их техническую характеристику. Дать эскизы деталей с указанием их размеров. Сделать оценку технологичности выбранных операций и соответствия их нормативным требованиям.

### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Проектирование заготовительных операций является начальным этапом изготовления сварных конструкций. Целью заготовительных операций является получение деталей необходимой формы и размеров согласно чертежу. От качества заготовительных операций зависит качество сборочных, сварочных операций и технологичность изготовления всего изделия. Поэтому необходимо предварительно ознакомиться с конструкцией изделия по чертежу, разбить всё изделие на отдельные детали и сборочные единицы. Ознакомиться с материалом, из которого изготавливаются все детали изделия, выяснить его толщину, марку, структурный класс и механические свойства. Необходимо знать условия работы конструкции и нормативную документацию, действующую в данной отрасли промышленности.

Первой операцией заготовительного цикла является, как правило, операция правки листового и профильного материала, чтобы получить в дальнейшем требуемую точность деталей при их изготовлении. Правка листового и профильного материала может проводиться в холодном или горячем состоянии в зависимости от возможных при этом деформаций, которые может выдержать данный материал. А это зависит от свойств материала и его пластичности. При холодной правке низкоуглеродистых и низколегированных сталей перлитного класса, таких как ВСт.3сп, ВСт.3пс, стали 10, 20, 16ГС, 09Г2С, 14Г2 и других, допускается деформация 1...1,5%; для аустенитных сталей, таких как 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т и других - 1,5...2%; для ферритных сталей 08Х13, 15Х25Т - не более 1%. Если при холодной правке деформация превышает допускаемую величину и появляются трещины, то правка ведется в горячем состоянии. Температура горячей правки металла выбирается в зависимости от механических свойств материала, толщины его и реакции на термический цикл (окисление, образование окалины, температурные интервалы хрупкости и т.д.).

Для правки в горячем состоянии металл нагревают в диапазоне температур от 200 до 800 °С. Правка листового материала осуществляется в листопрямильных машинах или на прессах. Тонколистовой материал толщиной до 4 мм может правиться на растягивающих машинах. Однако не весь листовой материал подвергается правке. При толщине более 24 мм правка металла практически не производится. После правки листы должны иметь прогиб не более 1 мм/ м по длине и ширине листа. Однако, если листовой материал идет в дальнейшем на вальцевание, фланжирование или штамповку, то прогиб листов может быть до 8 мм/ м и не подвергаться правке.

Профильный материал (уголок, швеллер, тавр, двутавр, труба, гнутые профили и т.д.) правится в зависимости от требований точности деталей из них и остаточных прогибов после транспортировки. Прогиб профильного материала, идущего на изготовление деталей, не должен быть более 1 мм/м, в противном случае требуется правка. Правка профильного материала производится на многороликовых правильных станах в холодном, реже в горячем, состоянии в зависимости от марки материала, размеров профиля и величины остаточных прогибов.

После правки металла назначается операция вырезки деталей. Предварительно необходимо определить схему рационального раскроя деталей из листов, обеспечивающую максимальную экономию материала. При раскрое необходимо правильно определить размеры в плане заготовок будущих деталей: обечаек, днищ, конусов, опор и т.д. Размеры заготовок определяются по чертежу или по формулам согласно форме детали (обечайка, днище, конус) с учетом зазоров в стыках и припусков на последующую механическую обработку или подгонку при сборке. Так, развертка обечаек определяется по формуле

$$L_p = \pi(D_{\text{вн}} + S) - \Sigma b, \quad (1)$$

где  $L_p$  - длина развертки обечайки, мм;  $D_{\text{вн}}$  - внутренний диаметр обечайки, мм;  $S$  - толщина металла, мм;  $b$  - припуск на механическую обработ-

ку и зазор в стыке согласно разделке кромок под сварку по ГОСТ, мм.

Диаметр заготовки эллиптического днища определяется по формуле:

$$D_{\text{заг}} = 2,422a + 2h + \Delta, \quad (2)$$

где  $D_{\text{заг}}$  - диаметр заготовки днища, мм;  $a$  - срединный радиус днища, мм;  $h$  - высота цилиндрической части днища, величина которой принимается от 40 до 80 мм;  $\Delta$  - припуск на обработку, равный 1,5...2,0% от диаметра заготовки.

Определить размер заготовки будущей детали в плане по ГОСТ на сортамент материала выбирают размер листа или профиля, из которого с минимальными отходами нужно вырезать одну или несколько заготовок будущей детали на годовую программу выпуска изделий. Для листового материала сталей всех структурных классов сортамент регламентируется ГОСТ 19903-74, для биметаллов - ГОСТ 10885-85; для двутавровых балок - ГОСТ 8239-72, для швеллеров - ГОСТ 8240-72, для труб - ГОСТ 8732-78, для профилей различного назначения - ГОСТ 5157-83.

Отходы листового материала в нефтяном, химическом и энергетическом машиностроении не должны превышать 8%, профильного - 2%. Годовая программа выпуска изделий согласуется с преподавателем. Ее можно рассчитать, зная трудоемкость изготовления одного изделия, действительный годовой фонд времени работы предприятия с учетом количества смен в день.

Процент отхода листового материала определяется по формуле

$$K_{\text{отх}} = \frac{F_{\text{л}} - (F_{\text{заг}} + F_{\text{тех}})}{F_{\text{л}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $F_{\text{л}}$  - площадь стандартного листа по ГОСТ, мм<sup>2</sup>;  $F_{\text{заг}}$  - суммарная площадь заготовок, вырезаемых да листа, с учетом годового выпуска изделий, мм<sup>2</sup>;  $F_{\text{тех}}$  - суммарная площадь деталей (входных и выходных планок для сварки, контрольных пластин для механических испытаний

свойств сварного соединения, а также деталей, используемых для изготовления изделий данного цеха или других цехов завода) мм<sup>2</sup>.

Размер листов по ГОСТ необходимо выбирать максимальных размеров, чтобы уменьшить количество сварных швов и вырезать максимальное количество деталей на годовую программу выпуска изделий.

Для более точного и рационального раскроя деталей необходимо на миллиметровой бумаге в масштабе (или в графических редакторах AutoCAD, Компас и др.) компоновать возможные варианты вырезки деталей до получения схемы с минимальными отходами материала.

Обработку кромок под сварку производят механическим способом или термической резкой. Преимущества того или другого метода определяются в каждом конкретном случае в зависимости от марки материала, формы и размеров заготовки, а также имеющегося оборудования.

Припуск на механическую обработку или шлифовку после термической резки или резки на ножницах и другими подобными способами должен быть достаточным для полного удаления всех неровностей и отклонений геометрической формы и вносимых в металл недопустимых структурных изменений.

После вырезки деталей необходимо придать ей соответствующую форму, согласно чертежу. Для получения из листовой заготовки обечайки или конуса необходима операция вальцевания на специальных листогибочных вальцах.

Вальцевание листового материала может производиться как в холодном, так и в горячем состоянии в зависимости от свойств материала и возникающих при этом деформациях. При холодном вальцевании низкоуглеродистых и низколегированных сталей перлитного класса относительная пластическая деформация в растянутой зоне не должна превышать 2,5%. В противном случае могут возникать трещины в стали и тогда вальцевание необходимо проводить в горячем состоянии. Определить ожидаемую пла-



стическую деформацию при вальцевании, зависящую от радиусагиба и толщины металла, можно по эмпирической формуле: отношением радиусагиба  $R$  к толщине металла  $S$ . Если это отношение меньше 25, то относительная деформация превышает 2,5% и вальцевание должно производиться в горячем состоянии:

$$\frac{R}{S} \leq 25, \varepsilon > 2,5\% - \text{вальцевание в горячем состоянии.}$$

Если отношение радиусагиба к толщине больше 25, тогда вальцевание может производиться в холодном состоянии;

$$\frac{R}{S} > 25, \varepsilon < 2,5\% - \text{вальцевание в холодном состоянии.}$$

Назначается схема вальцевания на трех или четырехвалковых вальцах, и по каталогу выбирается тип вальцов и приводится их техническая характеристика. Однако при вальцевании возможно появление недовальцованных концевых участков, которые можно избежать предварительной подгибкой кромок на прессах или подкладных листах определенного радиуса на тех же вальцах. Возможен вариант последующей после сварки продольного стыка калибровки обечаек. Но это связано с возможностью появления трещин в шве при малой пластичности материала. При электрошлаковой сварке продольного стыка обечаек предварительная подгибка кромок не требуется, так как после сварки производится калибровка обечаек, совмещаемая с нормализацией при температуре 900...950 °С.

Изготовление эллиптических днищ осуществляется штамповкой на прессах в горячем или холодном состояниях, а также фланжированием на ротационных прессах в горячем состоянии.

#### 4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1) Ознакомиться с чертежом конструкции, условиями ее работы, с материалами, из которых будут изготавливаться детали, сборочные единицы

и изделие в целом. Познакомиться с техническими условиями (ТУ), отраслевыми стандартами (ОСТ) и стандартами предприятия (СТП) на изготовление изделия.

2) Подробно изучить механические свойства материалов, из которых будет изготовлено данное изделие. Составить таблицы 1, 2 механических свойств и химического состава материалов. Определить структурный класс сталей, их свариваемость, влияние термического цикла сварки на структуру и свойства стали. Привести эти данные в отчете.

3) Разбить изделие на отдельные детали, сборочные единицы. Дать эскиз изделия со всеми размерами, штуцерами, люками и опорной части в двух проекциях. Составить таблицу материалов по маркам, толщинам, сортаменту. Если изделие изготавливается из биметалла, то в таблицах указать свойства и химический состав основного и плакирующего материалов.

4) Назначить операцию правки листового и профильного материалов, если она необходима. Выбрать правильное оборудование по каталогу и привести его характеристику.

5) Привести раскрой всех деталей изделия согласно чертежу (рис.1). Для этого определить размеры всех заготовок деталей в плане с учетом ширины реза при разделительной резке, механической обработке кромок и зазоров в стыке при сборке по ГОСТ на предполагаемый вид сварки данных соединений и тип подготовки кромок. По ГОСТ на сортамент листового материала выбрать размер листов при вырезке деталей, из которых получить минимальные отходы.

6) Рассчитать коэффициенты отходов материала по каждой детали изделия и определить средний коэффициент, который не должен превышать для листового материала 8%.

7) Назначить операцию правки заготовок после вырезки, если при этом возникли деформации, выходящие за пределы допустимых.

8) Назначить операцию по формообразованию заготовок с целью получения деталей согласно чертежу: обечайки, конуса, эллиптического или сферического днищ и т.д.

9) Определить по эмпирическим зависимостям возможные деформации при вальцевании, гибке, штамповке и сравнить их с допускаемыми с учетом свойств материала.

10) Выбрать способ и оборудование для подготовки кромок свариваемых деталей, вырезания отверстий под установку штуцеров и люков.

11) Выбрать оборудование для каждой операции, привести схемы работы и техническую характеристику. Режимы операций свести в табл.3

12) Привести данные по предельным отклонениям геометрических размеров и форм деталей и сборочных единиц.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1) Титульный лист.

2) Кратко описать конструкцию изделия, его назначение, условия работы. Дать эскизы изделия со всеми размерами согласно чертежу.

3) Привести таблицы механических свойств и химического состава всех материалов, применяемых для изготовления данного изделия. Дать оценку механических свойств материалов и их соответствие условиям работы конструкции. Определить структурный класс сталей, дать оценку их свариваемости и других технологических свойств.

4) После разбивки изделия на отдельные детали назначить операции по изготовлению каждой детали согласно чертежу в определенной последовательности: правка листового и профильного металла; определение размеров заготовок деталей в плане, выбор необходимых размеров листов по ГОСТ с целью рациональной вырезки заготовок с минимальными отходами (раскрой материалов); вырезка заготовок; вальцевание обечаек и конусов, штамповка или фланжирование днищ, штамповка заготовок полу-

сферических днищ, и т.д.

5) По каждой операции выбрать необходимое оборудование, приспособления и оснастку. Привести схему работы оборудования и приспособлений и дать последовательность выполнения операций на данном оборудовании.

6) При назначении каждой операции по изготовлению детали необходимо по нормативной документации выписать все требования по выполнению каждой заготовительной операции.

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

- 1) Цель раскроя листового и профильного материалов.
- 2) Способы получения обечаек и конусов цилиндрических изделий.
- 3) Какие схемы вальцевания обечаек и конусов существуют в машиностроении? Особенности каждой схемы.
- 4) Какие деформации материалов допускаются при холодном вальцевании, гибке, правке?
- 5) В каких случаях вальцевание ведётся в горячем состоянии материала?
- 6) Какое оборудование используется при правке, гибке, вальцевании штамповке?
- 7) Способы вырезки деталей из сталей различных структурных классов. Оборудование для газокислородной и плазменной резки металлов.
- 8) Как определить развертку обечайки, конуса нефтеаппаратуры и площадь заготовок эллиптических и полусферических днищ?
- 9) Способы разметки корпусов нефтяной аппаратуры под установку штуцеров, люков и муфт. Как определить координаты центра отверстий штуцеров и люков на корпусе?

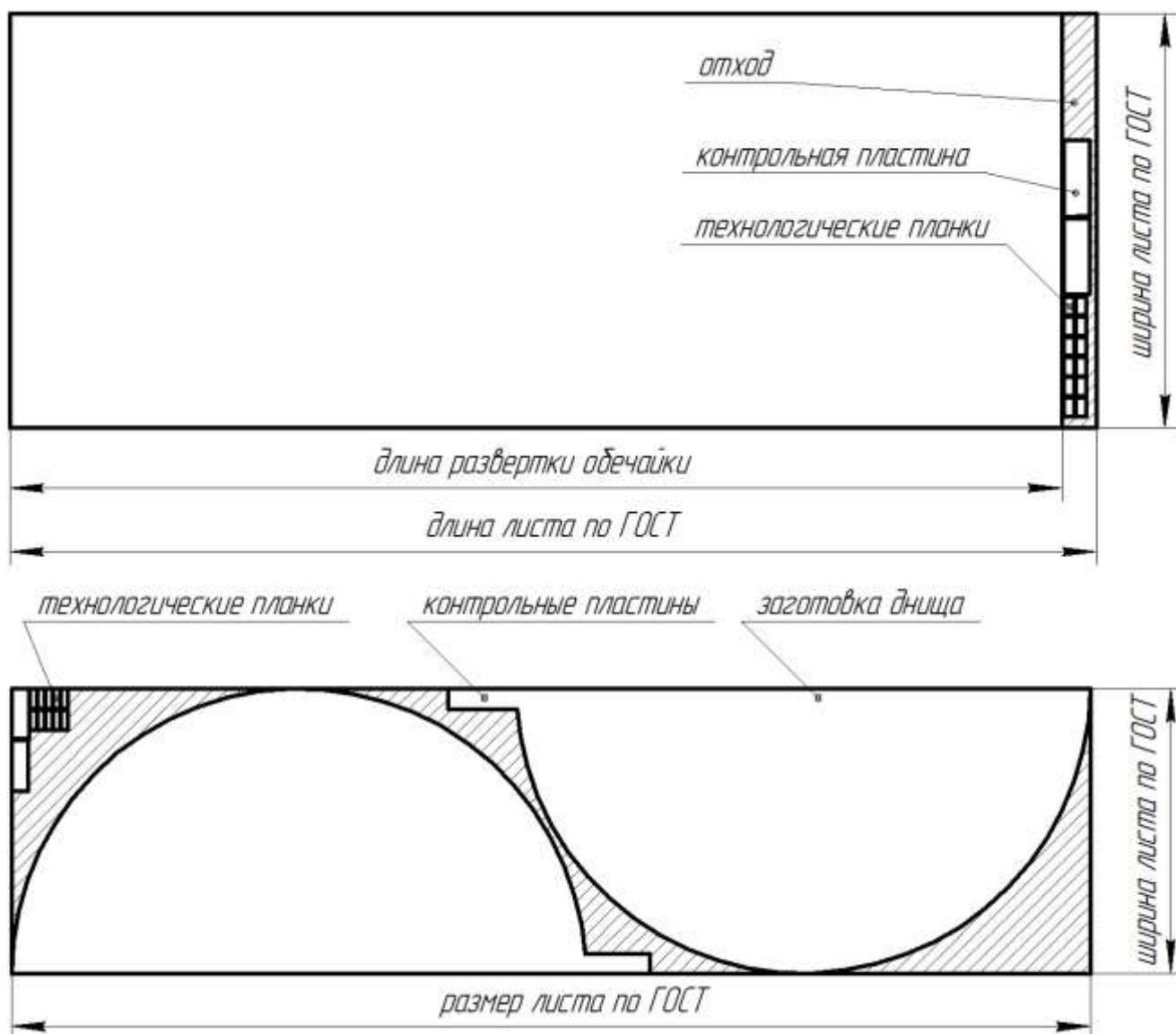


Рис. 1. Пример карты раскроя обечайки и днища

Таблица 1

**Механические свойства исходных материалов**

Марка материала	Структурный класс	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $\alpha_n$ , Дж/см <sup>2</sup>			Стойкость к МКК	ГОСТ	Толщина металла S, мм	Примечание
					+20°C	-40°C	-70°C				

**Химический состав исходных материалов**

Марка материала	Углерод	Марганец	Кремний	Хром	Молибден	Титан	Ванадий	Ниобий	Сера	Фосфор	Вольфрам	Дополнительные элементы	Примечание

Таблица 2

**Параметры режима заготовительных операций**

Наименование детали	Марка материала	Исходные размеры заготовки	Размер детали после операции	Наименование операции	Режим операции	Температура нагрева	Время выдержки	Температура окончания операции	Оборудование и оснастка	Нормативные требования	Примечание

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Овладение методикой выбора способа сборки деталей между собой под сварку согласно требованиям нормативно-технической документации. Назначение необходимого оборудования, приспособлений и оснастки, обеспечивающих требуемую точность сборки, а также инструмента для контроля качества сборочных работ.

#### **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

1) Изучить по нормативным документам требования к сборке отдельных деталей изделия между собой.

2) Выбрать способ сборки деталей между собой, сборочное оборудование, оснастку, приспособления. Привести их технические характеристики, схемы работы.

3) Назначить способы контроля качества сборочных операций, выбрать инструмент для контроля.

4) Составить отчет по результатам работы и сделать выводы по технологичности сборочных операций.

#### **3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Целью сборочных операций является правильное сопряжение соединяемых деталей перед сваркой, обеспечивающее работу сварного соединения без возникновения изгибающих моментов, не учитываемых расчетом. Наиболее нагруженные сварные швы изделия являются ответственными за прочность всей конструкции. К таким швам относятся продольные стыки цилиндрических и конических обечаек, меридиональные и хор-

довые швы заготовок днищ в сосудах, работающих под давлением.

Для обеспечения минимальных превышений кромок при сборке используются различные оборудование, оснастка и приспособления.

Выбор способов сборки определяется размером соединяемых деталей, маркой и толщиной металла, положением стыка в пространстве, формой и количеством деталей и т.д.

Для сборки деталей и обеспечения их правильного сопряжения применяют установочные и закрепляющие элементы: упоры, штифты, прижимы, струбцины, стяжки, центраторы, домкраты, призмы и т.д.

Выбор сборочного приспособления осуществляется, исходя из формы изделия, его габаритов, марки и толщины материала, протяженности стыка, способа сварки и других факторов. Для сборки сложных изделий используется имеющееся стандартное или проектируется новое специальное оборудование. В этом случае необходимо экономическое обоснование целесообразности создания такого оборудования.

Качество сборки контролируется специальным инструментом: линейки, угольники, штангенциркули, глубиномеры, щупы и др.

#### 4. МАТЕРИАЛЫ

- 1) Чертежи изделия.
- 2) Нормативно-техническая документация, регламентирующая требования к сборке сварных соединений.

#### 5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1) На основании данных заготовительных операций определяются способы сборки отдельных деталей между собой и изделия в целом.

2) Назначить способ сборки заготовок днищ для последующей их сварки. Предварительно выбирается способ сварки данных заготовок и тип подготовки кромок по ГОСТ. Выбрать сборочное оборудование и приспособления для сборки. Привести схему сборки с указанием допускаемых



превышений кромок, сборочных элементов - технологических планок, контрольных пластин для определения качества сварного соединения, схемы базирования при сборке отдельных деталей днища (см. табл. 1, рис. 1). Привести эскиз применяемого для сборки оборудования и приспособлений с указанием последовательности сборочных операций.

3) Для остальных сборочных единиц и узлов выполнить работы в объеме, указанном в п.2.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1) Титульный лист.

2) Привести последовательность всех сборочных операций с требованиями к сборке по нормативно-технической документации, со схемами, эскизами, поясняющими работу сборочного оборудования и приспособлений для сборки. Указать методы фиксирования деталей при сборке.

3) Привести схемы базирования для сборки отдельных деталей и сборочных единиц.

4) Сделать общий вывод по работе.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1) Цель сборочных операций и влияние качества сборки на свойства сварного соединения.

2) Какие требования к сборке продольных стыков обечаек и карт, ответственных за прочность всей конструкции?

3) Какие допускаются превышения кромок при сборке кольцевых стыков?

4) Какое оборудование и оснастка применяются при сборке продольных и кольцевых стыков цилиндрических изделий, работающих под давлением?

5) Назначение прихваток при сборке, их количество и протяженность.

## Условные обозначения опор и зажимов по ГОСТ 3.1107-81

п/п	Наименование опоры или зажима	Обозначение опоры и зажима на видах		
		спереди, сзади	сверху	снизу
1	Опора неподвижная			
2	Опора подвижная			
3	Опора плавающая			
4	Опора регулируемая			
5	Зажим одиночный			
6	Зажим двойной			
7	Вращающийся центр		То же	То же

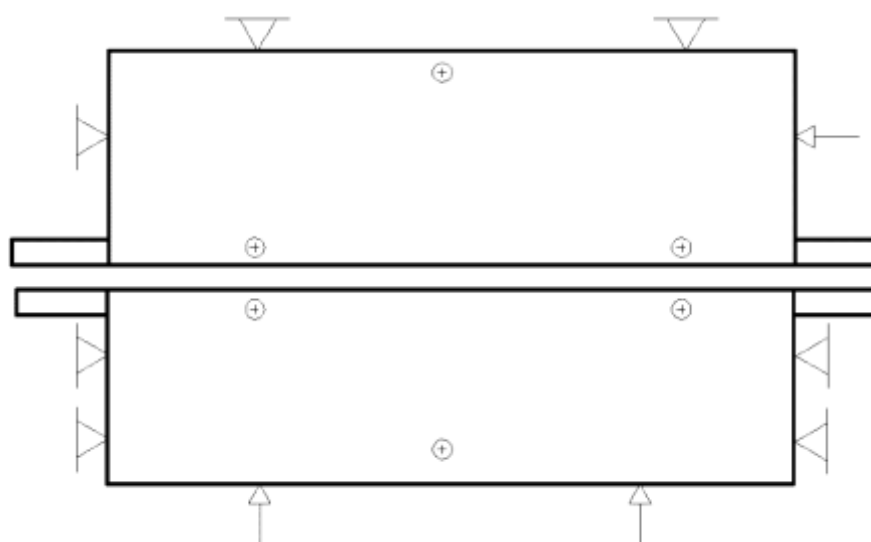


Рис.1. Пример схемы базирования сборочных приспособлений

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Овладеть методикой выбора способов сварки в зависимости от марки, толщины металла, пространственного расположения и протяженности шва, сварочных материалов, оборудования и методов контроля качества.

#### 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1) На базе данных предыдущих лабораторных работ (№1 и №2) назначить способы сварки всех заготовок между собой, деталей в сборочные узлы и изделия в целом.

2) Выбрать необходимые сварочные материалы по каждому способу сварки, обеспечивающие равнопрочность, необходимые пластические свойства, коррозионную стойкость и др. характеристики, исходя из условий работы конструкции.

3) Рассчитать или выбрать по рекомендациям заводских руководящих технических материалов (РТМ), справочным данным основные параметры режимов сварки. Выбрать данные, исходя из величины сварочного тока и способа сварки, источник питания. Дать его характеристику.

4) Выбрать по каталогу и скомпоновать установку для сварки различных деталей, сборочных единиц и изделия в целом. Привести схемы установок и дать последовательность выполнения каждого прохода и слоя сварного шва.

5) Выбрать способы приварки штуцеров и люков в корпус изделия, оборудование. Привести эскизы подготовки кромок по ГОСТ и дать последовательность выполнения швов, учитывая материал конструкции (мо-

нометалл или биметалл).

б) Назначить методы контроля качества сварных соединений, вид термической обработки изделия согласно нормативно-технической документации.

### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Выбор способов сварки зависит от многих факторов: рода, сортамента металла и заготовок; химического состава металлов или их теплофизических свойств, определяющих технологическую свариваемость; толщины металла; назначения изделия с точки зрения характера воспринимаемых нагрузок (статическая, динамическая, знакопеременная) и условий эксплуатации (наличие коррозионной среды и характера её воздействия, действие высоких или низких температур); конструкции изделия с учётом её сложности, массы, габаритов, типа соединений; положения швов в пространстве; характера работы (прочные, плотно-прочные); назначения (рабочие и связующие); протяжённости (сплошные и прерывистые) и средней протяжённости швов конструкции; вида термической обработки сварных соединений и конструкций, особенно конструкций из среднелегированных сталей; производительности метода, способа сварки; программы выпуска и типа производства; экономической эффективности метода, способа сварки.

Стали низкоуглеродистые и низколегированные перлитного класса свариваются всеми видами сварки: автоматической дуговой сваркой под флюсом (АДС); электрошлаковой сваркой (ЭШС) с последующей нормализацией; автоматической или полуавтоматической в защитных газах или их смесях ( $\text{CO}_2$ ;  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ ;  $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ , аргон, гелий) плавящимися или неплавящимися электродами без применения дополнительных технологических приемов. В зимнее время года при сварке больших толщин (свыше 30 мм) для предотвращения трещинообразования применяется иногда предварительный подогрев до температуры  $+150\dots+200$  °С специальными газопламенными горелками или индукторами. Предварительный подогрев приме-

няется и при сварке теплоустойчивых сталей перлитного класса, таких как 12ХМ, 12МХ, 20Х2СМА и др. независимо от толщины металла и времени года. Сварка этих сталей при температуре ниже 0° С не разрешается из-за большой вероятности образования трещин.

Хорошо свариваются всеми видами сварки стали аустенитного класса 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т и др. Но при сварке этих сталей, а также при наплавке плакирующего материала биметалла с коррозионным слоем из этих сталей, необходимо при выборе сварочных материалов и параметров режима сварки обеспечить стойкость сварных швов к межкристаллитной коррозии (МКК) (при наличии требований в проекте) и к горячим трещинам. Стали ферритного класса (08Х13, 15Х25Т и др.) из-за высокой чувствительности к углероду и термическому циклу сварки (точнее скорости охлаждения) чаще свариваются по аустенитному варианту, чем по ферритному, требующему предварительного, сопутствующего подогревов и термообработки, практически сразу после сварки. Для снятия напряжений применяется высокий отпуск при 500-600°С.

На выбор способа сварки влияет толщина металла. При толщинах до 12-14 мм рационально использовать автоматическую или полуавтоматическую сварку под флюсом, сварку в СО<sub>2</sub> или смесях углекислоты (СО<sub>2</sub>) с кислородом или аргоном в зависимости от протяженности швов и положения в пространстве.

При толщинах металла 12-16 мм рационально использовать автоматическую дуговую сварку под флюсом с обратным формированием шва на скользящем водоохлаждаемом медном ползуне. Этот способ используется для сварки полотнищ и карт в горизонтальном положении, исключая кантовку их после сварки с одной стороны.

При толщинах более 14-15 мм рационально использовать автоматическую дуговую сварку под флюсом, хотя возможно применение автоматической

многопроходной сварки в  $\text{CO}_2$  или смесях газов. При малой протяженности швов, при приварке штуцеров и люков, опорных элементов корпусной аппаратуры рационально использовать полуавтоматическую сварку в  $\text{CO}_2$ , если применение автоматической сварки под флюсом невозможно. Возможно применение в этом случае и ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

При выборе способа сварки продольных стыков обечаек и корпусов, заготовок днищ между собой при толщине металла более 30 мм рационально использовать электрошлаковую сварку с последующей нормализацией сварного шва, которая совмещается с горячей калибровкой обечаек и конусов, фланжированием или штамповкой эллиптических днищ, проводимых в горячем состоянии. При нормализации (нагрев при 900-950 °С, выдержка при этой температуре и охлаждение на спокойном воздухе) происходит измельчение зерна, увеличенного при ЭШС в результате длительного пребывания металла в области высоких температур из-за малой скорости электрошлаковой сварки (1-2 м/ч).

При назначении способов сварки кольцевых стыков цилиндрических изделий с толщиной стенки >30 мм. наиболее рационально использовать автоматическую многопроходную сварку под флюсом или в  $\text{CO}_2$  в узкощелевой зазор со специальной подготовкой кромок. При этом уменьшается количество наплавленного металла без снижения работоспособности сварного соединения.

Большое внимание на качество сварного соединения оказывает правильный выбор сварочных материалов: сварочной проволоки, флюсов, защитных газов.

Сварочные материалы выбираются из условия обеспечения равнопрочности, необходимых пластических свойств, ударной вязкости, стойкости к межкристаллитной коррозии сварного соединения и основного металла.

Выбор сварочных материалов производится, исходя из свойств свариваемого материала, способа сварки, требований к сварным соединениям, условий эксплуатации изделия (давление, температура и др.).

Для этого необходимо ознакомиться с механическими свойствами материалов, из которых будет изготавливаться сварная конструкция, их свариваемостью и реакцией на тепловое воздействие и т.д.

Большое влияние на качество сварного соединения оказывает правильное назначение параметров режимов сварки, которые могут быть рассчитаны по определенным методикам или выбраны по справочным данным, полученным с учетом производственного опыта действующих предприятий. Чаще всего производится расчет основных параметров сварки и сравнивают эти данные с рекомендованными для проверки правильности расчетных данных.

Для автоматической дуговой сварки под флюсом основными параметрами режима являются: величина сварочного тока; скорость сварки; напряжение на дуге; скорость подачи сварочной проволоки; диаметр и марка ее; род и полярность тока; марка флюса.

Для электрошлаковой сварки: величина сварочного тока; напряжение на шлаковой ванне, скорость подачи сварочной проволоки, диаметр и марка ее; глубина шлаковой ванны, скорость поперечных перемещений сварочной проволоки; время выдержки у ползуна; количество проволок, марка флюса, скорость сварки; род и полярность сварочного тока.

Для автоматической и полуавтоматической сварки в защитных газах основными параметрами режима сварки являются: величина сварочного тока и напряжение на дуге; скорость подачи сварочной проволоки; диаметр и марка ее; скорость сварки; род и полярность сварочного тока; наличие дополнительных газов при использовании смесей газов.

Для ручной дуговой сварки параметрами сварки являются диаметр и марка электрода, сила сварочного тока, расположение шва в пространстве,

количество проходов, род и полярность сварочного тока.

Для выполнения сварных швов необходимо выбрать по каталогу-справочнику и скомпоновать из отдельных видов оборудования установку, которая должна включать в себя устройство для установки свариваемых заготовок, собранных узлов с обеспечением их поворота в удобное для сварки положение, вращения изделия со сварочной и маршевой скоростями, оборудование для установки и перемещения сварочных автоматов, а также оборудование для уплотнения стыков. Выбор оборудования осуществляется, исходя из формы изделия, его веса и расположения швов в пространстве.

Разметка корпуса под установку штуцеров и люков осуществляется двумя методами: лазерной разметкой изнутри или снаружи корпуса и разметкой меловым шнуром, с помощью которого наносится базовая линия в корпусе, относительно которой осуществляется разметка.

Лазерный луч, как концентрированный световой луч, также обозначает продольную базовую линию, от которой затем находят координаты центра отверстий штуцеров и люков согласно чертежу и плану истинного расположения штуцеров и люков. Базовая линия выбирается, как правило, по линии наибольшего количества штуцеров, люков и муфт.

Вырезка отверстий под штуцера и люки осуществляется газокислородной или плазменной резкой в зависимости от структурного класса стали и толщины плакирующего слоя биметалла.

Вырезка может осуществляться механизированным или ручным способами в зависимости от диаметра отверстий. Малые отверстия под установку муфт, как правило, сверлятся.

Установка штуцеров и люков осуществляется мостовым или консольным краном или вручную в зависимости от веса штуцера или люка. При установке должны быть соблюдены размеры вылета штуцера или люка и перпендикулярность их относительно корпуса согласно чертежу.



Приварка штуцеров и люков может осуществляться автоматической сваркой под флюсом или в  $\text{CO}_2$  специальными сварочными головками, полуавтоматической сваркой в  $\text{CO}_2$  (или смесях газов), а также ручной дуговой сваркой.

Способы контроля качества сварных соединений назначаются согласно требованиям нормативно-технической документации, которая регламентирует и количество образцов по всем видам механических испытаний. В зависимости от этого и с учетом возможных повторных испытаний выбирается размер контрольных пластин, которые свариваются на тех же режимах, что и сваренный стык или являются продолжением сварного шва (например, продольный стык обечаек).

#### 4. МАТЕРИАЛЫ

- 1) Чертежи изделия.
- 2) Результаты проектирования заготовительных и сборочных работ (лабораторные работы № 1 и № 2).

#### 5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) На основе данных лабораторных работ № 1 и № 2 назначаются способы сварки отдельных деталей, сборочных единиц и изделия в целом.
- 2) Выбрать разделку конструктивных элементов сварного соединения в соответствии с требованиями ГОСТ на выбранный способ сварки.
- 3) Рассчитать режимы сварки каждого типа сварного соединения.
- 4) Для полученных режимов сварки выбрать соответствующее сварочное оборудование, а также предусмотреть возможность применения дополнительной технологической оснастки (флюсовые подушки, уплотнители стыка, подогреватели, роликовые стенды и т.п.).
- 5) Обосновать выбор сварочных материалов, для чего рассчитать ожидаемый химический состав сварного шва и сравнить с химическим со-

ставом свариваемой стали. По диаграмме Шефлера, Де-Лонга или WRC-1992 определить наиболее вероятную структуру сварного шва, рассчитать склонность металла сварного шва к образованию кристаллизационных и холодных трещин. Для низкоуглеродистых и низколегированных сталей рассчитать ожидаемые механические свойства.

6) Описать технологию выполнения сварного шва, с указанием последовательности наложения слоев и проходов в слое, направления сварки (на проход, от середины к краям, участками и т.д.), наличия и температуры подогрева (предварительного и/или сопутствующего). В случае сварки участками привести схему сварного соединения, поясняющую расположение участков, последовательность и направление их сварки (см. рис. 1).

7) Назначить методы и объемы контроля качества сварных соединений согласно нормативно-технической документации. Указать требуемые значения механических свойств сварных швов. Привести эскизы образцов для механических испытаний в соответствии с ГОСТ 6996-69. Описать применяемые методы неразрушающего контроля качества.

8) При наличии требований по термической обработке, указать вид и режимы.

9) Привести полный эскизный чертеж изделия с обозначением всех сварных швов согласно ГОСТ 2.312-72 (рис. 2).

10) Сделать общий вывод о технологичности сварочных операций и изготовления всего изделия в целом.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1) Титульный лист.

2) Привести последовательный перечень всех сварочных операций согласно пункту 5 настоящих методических указаний с эскизами, с таблицами, схемами.

3) Сделать общий вывод о работе.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

- 1) Какие факторы влияют на выбор способа сварки конструкции?
- 2) Из каких условий выбираются сварочные материалы?
- 3) Чем отличается установка для автоматической дуговой сварки продольных и кольцевых стыков?
- 4) Какие требования предъявляются к флюсам для ЭШС?
- 5) Для каких целей сваривается контрольная пластина? Как определяются механические характеристики сварного соединения?
- 6) Какие существуют способы разметки цилиндрических изделий под установку штуперов и люков?
- 7) Как обозначаются сварные швы на чертеже?
- 8) Способы и техника сварки протяженных швов и швов большого сечения?
- 9) Особенности технологии сварки сталей перлитного, аустенитного, ферритного и мартенситного классов?

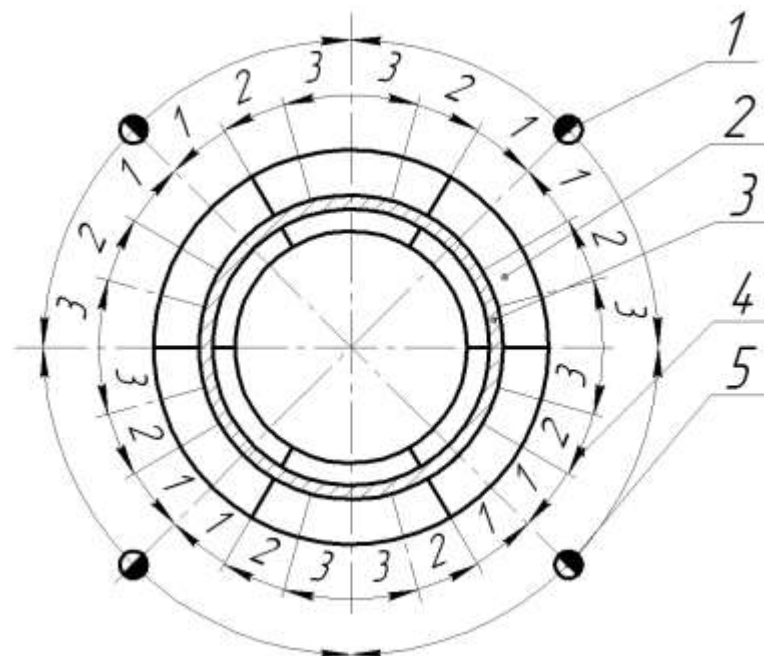


Рис.1. Пример схемы сварки участками обечайки с опорным кольцом:  
1 – рабочее место сварщика; 2 – опорное кольцо; 3 – обечайка; 4 – направление сварки в пределах участка; 5 – общее направление сварки участка сварного шва.

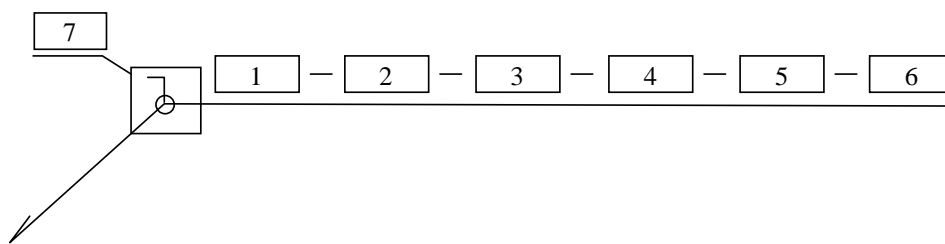


Рис.2. Обозначение сварных швов на чертежах по ГОСТ 2.312-72:

1 – обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений; 2 – буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений; 3 – условное обозначение способа сварки по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (допускается не указывать, если стандарт подразумевает только один способ сварки); 4 – знак и размер катета согласно стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений (не указывается для стыковых сварных соединений и угловых сварных соединений с разделкой кромок). Высота знака должна быть одинаковой с высотой цифр, входящих в обозначение шва;

5 – вспомогательные знаки:

Знак	Назначение знака
/	Обозначение прерывистого шва (провариваемый участок/шаг). Угол наклона линии - $60^{\circ}$
Z	Обозначение прерывистого шва в шахматном порядке для угловых сварных соединений (провариваемый участок Z шаг)
	Для одиночной сварной точки – размер расчетного диаметра точки
	Для шва контактной точечной сварки или электрозаклепочного – размер расчетного диаметра точки или электрозаклепки, знак / или Z и размер шага
	Для шва контактной шовной сварки - размер расчетной ширины шва
	Для прерывистого шва контактной шовной сварки - размер расчетной ширины шва, знак умножения, размер длины провариваемого участка, знак / и размер шага

6 – вспомогательные знаки:

Знак	Назначение знака
Ω	Усиление шва снять
ω	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу
≡	Шов по незамкнутой линии. Знак применяют, если из чертежа ясно из чертежа

7- вспомогательные знаки:

Знак	Назначение знака
○	Шов по замкнутой линии. Диаметр знака – 3...5 мм
⌈	Шов выполнить при монтаже изделия, т.е. при установке по чертежу на месте применения

# КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### 1. ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1) Формирование у студента представления о процессе сварки как одном из способов соединения деталей и узлов между собой и его особенностях, влияющих на технологичность сварных конструкций.

2) Привитие навыков чтения чертежей сварных конструкций.

3) Развитие правильного выбора способов заготовки, сборки и сварки деталей и узлов с учетом условий эксплуатации, типа и масштаба производства с экономическим обоснованием выбранных вариантов.

4) умение грамотно назначить режимы технологических процессов на основе теоретических расчетов, экспериментальных данных и данных производственных разработок.

5) Решение вопросов обеспечения технологического процесса средствами механизации и автоматизации отдельных операций, развитие навыков обоснованного выбора заготовительного, сборочного, сварочного оборудования и инструмента, а также приобретение некоторого опыта в проектировании нестандартного сборочно-сварочного оборудования.

6) Ознакомление с основами роботизации сварочного производства и рекомендации по применению роботов в данной разработке.

7) Умение назначить рационально методы контроля качества сварных соединений и других технологических операций согласно требованиям отраслевых стандартов.

8) Закрепление теоретических знаний, полученных в процессе обучения в университете.

9) Развитие навыков самостоятельной работы с научно-технической литературой.

## 2. ТЕМАТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Тема курсового проекта может быть связана с выбранной студентом специализацией:

- технология изготовления сварных конструкций;
- технология сборки и сварки в химическом и энергетическом машиностроении.

При этом должна быть разработана технология заготовки, сборки и сварки изделия из металлических, неметаллических и композиционных материалов, а также наплавки деталей и узлов с обеспечением необходимых размеров и эксплуатационных свойств. Выбрано необходимое оборудование и оснастка, методы контроля качества сварных швов и изделия в целом согласно техническим требованиям на изготовление данного вида конструкции, данной отрасли промышленности.

В качестве изделия могут быть следующие конструкции: балки и фермы различного назначения, теплообменники, емкости для хранения различного сырья, узлы трубопроводов, аппараты нефтяного и химического машиностроения секции судна, детали трактора, автомобиля, экскаватора, самолета и т.д.

Темой курсового проекта может быть индивидуальное задание на проведение научно-исследовательской работы после согласования с руководителем проекта объема, содержания и утверждения заведующим кафедрой. Причем разработка техпроцесса изготовления изделия (заготовка, сборка, сварка и контроль качества) и экономический расчет являются обязательными.

## 3. СОСТАВ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется в виде:

- пояснительной записки на 40...60 листах машинописного текста на одной стороне листа формата А4 (ГОСТ 2301-68); в записке кратко и ясно

приводятся все сведения по технологии изготовления изделия, даются все необходимые расчеты и пояснения к проекту, таблицы и графики экспериментальных данных;

– графической части объемом 4 листа чертежей формата А1 (594x841 по ГОСТ 2.301-68);

– технологического процесса, выполненного на отдельных бланках установленного образца на изготовление основного узла конструкции или одной - двух деталей.

### *Пояснительная записка*

Введение. Описание изделия, назначение и технические условия на его изготовление. Ознакомление с материалом для сварной конструкции, его механическими, эксплуатационными свойствами. Оценка свариваемости материала и технологичности изготовления.

1) Ознакомление с чертежом конструкции. Разбивка изделия на узлы, подузлы, детали. Выбор рациональных способов соединения узлов, подузлов и деталей между собой.

2) Выбор рациональных способов заготовки узлов, подузлов, деталей. Составление схем раскроя деталей, обеспечивающих минимальные отходы материалов, идущих на изготовление данной конструкции. Выбор способов резки, гибки, вальцевания, правки, штамповки, подготовки кромок под сварку и других операций по изготовлению деталей и узлов конструкции. Выбор оборудования для заготовительных работ, обеспечивающего качественное изготовление деталей. Оценка качества заготовительных работ.

3) Выбор способов сборки деталей и узлов между собой, оборудования и приспособлений, обеспечивающих необходимую точность сборки, регламентирующуюся руководящими техническими материалами. Оценка качества сборочных работ.

4) Выбор способов сварки деталей и узлов между собой, сварочного

оборудования, материалов (сварочной проволоки, флюсов, электродов, защитных и горючих газов и т. д.).

5) Расчет режимов сварки и сопоставление их с рекомендуемыми параметрами действующих предприятий.

6) Выбор источников питания для сварки.

7) Расчет ожидаемого химического состава металла шва, скоростей охлаждения и возможных сварочных деформации, ожидаемых механических свойств в случае применения малоуглеродистых и низколегированных сталей.

8) Обоснование и назначение термической обработки сварной конструкции.

9) В процессе выполнения курсового проекта необходимо решение вопросов повышения степени и уровня механизации и автоматизации ряда операций технологического процесса. Возможно конструирование новых средств механизации расчетом некоторых узлов.

10) Выбор методов контроля качества заготовительных, сборочных и сварочных работ, оборудования для контроля. Оценка механических свойств сварных соединений. Назначение испытаний сварных швов на ударную вязкость, межкристаллитную коррозию, металлографические испытания и гидроиспытание всей конструкции согласно требованиям технических условий на изготовление изделия.

11) Решение вопросов техники безопасности, охраны труда и природы.

12) Составление списка используемой литературы и окончательное оформление пояснительной записки.

13) Составление технологических карт на изготовление конструкции или отдельных ее узлов.

*Графическая часть*

Общий вид изделия - один лист.



2) Технологические параметры изготовления сварной конструкции: типы подготовки кромок под сварку, таблицы режимов сварки, применяемых сварочных материалов, сварочного оборудования, методы контроля сварных соединений - один лист.

3) Средства механизации и автоматизации заготовительных, сборочных или сварочных работ - один лист.

4) Блок-схема технологического процесса изготовления изделия - один лист.

#### 4. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Работа над проектом должна выполняться в следующей последовательности:

1) Подробно изучить чертежи изделия, его назначение, условия работы, оценить технологичность сварной конструкции.

2) Ознакомиться с материалом, из которого будет изготавливаться изделие, с его свариваемостью и механическими свойствами.

3) Расчленить сварную конструкцию на технологические сборочные узлы и детали. Назначить методы заготовки каждого узла, детали. Сформулировать требования к неразъемным соединениям, что позволит правильно подойти к выбору методов сборки, видов сварки, параметров режима, оборудования, оснастки, способов контроля качества всех операций.

4) Ознакомиться с техническими условиями на изготовление изделия, руководящими технологическими материалами, стандартом предприятий, на котором изготавливаются данные изделия, требованиями ГОСТ.

5) Изучить имеющиеся данные заводского опыта, отечественной и иностранной литературы по производству аналогичных изделий.

6) Провести обоснованный выбор заготовительных операций, оборудования для выполнения данных операций, методов контроля.

7) Провести выбор сборочного оборудования, сборочных операций, оснастки, инструмента. Согласно ГОСТ, ОСТ, РТМ, СТО, регистру (мор-

скому или речному) назначить требования к сборочным операциям.

8) Выбрать рациональные методы сварки деталей и узлов между собой, сварочные материалы, флюсы, защитные газы, методы контроля качества и т. д. Установить тип подготовки кромок под сварку.

9) Провести расчет режимов сварки, скорости охлаждения, возможных сварочных деформаций и дать их оценку. Выбрать необходимый вид термической обработки.

10) Назначить методы контроля качества сварных соединений, согласно требованиям нормативных документов.

11) Выбрать необходимые источники питания для сварки, согласно рассчитанным или выбранным параметрам сварки.

12) Наметить общую маршрутную схему технологического процесса.

13) Составить операционные технологические карты с указанием всех параметров по всем операциям: заготовительным, сборочным, сварочным, контрольным.

## 5. ПРИМЕРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

*Графическая часть* - 4 листа формата А1 ГОСТ 2301-68.

1-й лист – изделие, как минимум в двух проекциях, со всеми размерами, необходимыми для обеспечения сборки всех деталей и сборочных узлов в единую конструкцию и производства сварочных работ. Приводятся технические требования на изготовление изделия и условия его работы. Даются некоторые разрезы, сечения и выноски, поясняющие вид изделия. В спецификацию вносятся только те детали и сборочные узлы, которые подлежат сборке и сварке. Все сварные швы должны быть обозначены согласно ГОСТ 2312-72.

2-й лист – технологические параметры сварки данного изделия. Приводится таблица, в которой указывается номер шва, тип соединения по ГОСТ, тип подготовки кромок, порядок наложения швов и все основные

параметры сварки данного шва: сила тока, напряжение на дуге, скорость сварки, скорость подачи электродной проволоки, вид защиты металла шва, род тока, полярность и марки сварочных материалов. Указывается сварочное оборудование: источник питания, подающий механизм, подвесная головка или сварочный трактор. Приводятся данные о методах контроля каждого сварного шва изделия.

3-й лист - средства механизации, используемые в данном проекте, узлы технологической оснастки, оборудования и средств контроля. Это может быть заготовительное, сборочное или сварочное оборудование, как минимум в 2-х проекциях, так, чтобы из чертежа можно было понять конструкцию оборудования и как осуществляются на нем технологические операции. Здесь же наносятся контуры собираемого изделия цветным карандашом или фломастером, без затенения оборудования. Сварочный автомат или головка, сборочный инструмент показывается в рабочем состоянии. Могут изображаться отдельные разрезы, сечения, поясняющие работу оборудования, в указанном масштабе. Пригодятся габаритные размеры оборудования и некоторые другие размеры, поясняющие расположение основных узлов и изделий на данном оборудовании.

4-й лист – блок-схемы технологического процесса изготовления данного изделия. Приводится последовательность выполнения всех операций по изготовлению данного изделия: заготовительных, сборочных, сварочных и контрольных. Указывается номер операций, согласно операционным картам, предварительно составленными, номера позиций деталей или сборочных узлов, собираемых по данной операции, согласно чертежу изделия.

#### *Пояснительная записка*

Пояснительная записка должна содержать последовательное изложение всех разработок по данному проекту по разделам. Дается анализ, действующей на базовом предприятии технологии, и определяются пути ее совершенствования. Обосновывается выбор способов заготовки, сборки,

сварки деталей, узлов и изделия в целом, необходимого оборудования, оснастки, инструмента. Назначаются методы контроля качества всех операций. Выбирается необходимое оборудование для контроля, мерительный инструмент.

В качестве приложения к пояснительной записке составляются карты технологического процесса изготовления данного изделия, узла в последовательности выполнения всех операций с указанием применяемого оборудования, оснастки, приспособлений, инструмента, а также требований к выполнению заготовительных, сборочных операций, согласно технологическим рекомендациям и режимам сварки и прихватки.

Записка должна содержать 30...65 страниц машинописного текста на листах формата А4 (210x297) по ГОСТ 2.301-68.

Примерный перечень разделов записки:

- 1) Задание – 1 стр.
- 2) Оглавление – 1-2 стр.
- 3) Аннотация – 1 стр.
- 4) Введение – 1-2 стр.
- 5) Характеристика изделия и условия его работы – 1 стр.
- 6) Характеристика материалов, из которых будет изготовлено данное изделие, их свариваемость, механические и коррозионные свойства, работа при низких и высоких температурах и т. д. – 3...4 стр.
- 7) Разбивка изделия на технологические узлы, подузлы, детали. Составление схем рационального раскроя материалов. Выбор способов сборки и видов сварки деталей и узлов изделия с учетом обеспечения технологичности и свариваемости данного материала – 5...6 стр.
- 8) Выбор заготовительного, сборочного, сварочного оборудования, оснастки и сварочных материалов – 5...6 стр.
- 9) Выбор и расчет параметров сварки материала: ручной дуговой покрытыми электродами, автоматической и полуавтоматической дуговой

сварки под флюсом или в защитных газах и их смесей, электрошлаковой сварки, аргонодуговой сварки и т. д. – 6...7 стр.

10) Обосновывается выбор сварочных материалов, для чего приводится расчет ожидаемого химического состава сварного шва и его сравнение с химическим составом свариваемой стали. По диаграмме Шефлера, Де-Лонга или WRC-1992 следует определить наиболее вероятную структуру сварного шва, рассчитать склонность металла сварного шва к образованию кристаллизационных и холодных трещин. Для низкоуглеродистых и низколегированных сталей рассчитать ожидаемые механические свойства – 10...12 стр.

11) Выбор источников питания для сварки на основе расчетных данных и рекомендаций (справочным данным) – 3...4 стр.

12) Расчет скорости охлаждения материала при сварке на принятых режимах и обоснование выбора термической обработки изделия после сварки, предварительного и сопутствующего подогревов – 3...4 стр.

13) Расчет возможных сварочных деформаций при сварке на принятых режимах и меры по снижению их отрицательного влияния на работу конструкции и точность ее изготовления – 3...4 стр.

14) Выбор методов контроля заготовительных, сборочных, сварочных операций и контрольного оборудования – 2...3 стр.

15) Выбор или проектирование средств механизации для выполнения заготовительных, сборочных и сварочных операций – 2...3 стр.

15) Разработка пооперационной технологии, составление технологических карт на изготовление детали, узла или всего изделия на специальных бланках (прилагается к пояснительной записке).

16) Список используемой литературы – 1...2 стр.

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОЕКТА

1) Аннотация. Кратко формулируется задача, поставленная в проекте, как она была решена и к какому результату эти разработки привели.

2) Введение. Необходимо охарактеризовать основные направления и перспективы развития данной отрасли промышленности и сварочные процессы в ней. Пути механизации и автоматизации по изготовлению данного типа конструкций. Краткий анализ возможных путей повышения производительности изготовления изделия.

3) Характеристика изделия. При описании конструкции необходимо отметить назначение, условия работы, требования, предъявляемые к изделию и сварным швам. Дать анализ технологичности изготовления конструкции, возможности применения механизированных способов заготовки, сборки и сварки, высокопроизводительных оснастки и оборудования.

4) Характеристика материала. Выбор материала для сварной конструкции производится на основании требований к прочностным свойствам при эксплуатации изделия, необходимых силовых расчетов. В проекте, как правило, материал конструкции задается руководителем. Однако необходимо дать характеристику материала по механическим свойствам, стойкости к коррозии в определенных средах, работе при низких и высоких температурах, свариваемости и т. д. Эти данные берутся из соответствующих стандартов на эти материалы и приводятся в виде таблиц. Перечень ГОСТов на марки свариваемых сталей и наиболее распространенный профильный материал приводятся в приложении к данным указаниям.

5) Разбивка изделия на узлы, подузлы, детали. Выбор способов заготовки, сборки и сварки. Разбивка изделия на технологические узлы, подузлы, детали производится для обеспечения правильного выбора способов изготовления каждой части изделия, соответствующего оборудования, оснастки, инструмента, а также организации параллельных рабочих мест по изготовлению узлов с целью снижения длительности производственно-

го цикла изготовления всего изделия. Это позволяет шире использовать преимущества комплексной механизации и автоматизации и применение специального оборудования.

б) Заготовительные операции. После разбивки изделия на узлы, подузлы, детали необходимо все эти материалы разделить по маркам, сортаменту, толщине и свести эти данные в таблицу; составить карты раскроя всех деталей, входящих в узлы, подузлы, исходя из годовой программы выпуска (задается условно руководителем, исходя из трудоемкости изготовления одного изделия на базовом предприятии или на основании расчета). предварительно необходимо вычертить, в соответствующем масштабе, эскизы всех деталей изделия, которые необходимо получить в результате заготовительной операции. эти эскизы с указанием всех размеров, помещаются в приложение пояснительной записки. они используются для составления карт раскроя, выбора сортамента исходного материала. раскрой следует вести с наименьшими отходами листового (не более 8%) и профильного (не более 5%) материалов на годовую программу. При раскросе необходимо учитывать ширину реза, величину зазоров при сборке, а также величину усадки шва при сварке. Карты раскроя каждой детали изделия прикладываются к пояснительной записке. Выполняются на миллиметровой бумаге в масштабе или с использованием графических комплексов AUTOCAD, Компас и др. Остающиеся части листового или профильного металла при раскросе могут быть использованы для изготовления вводных и выводных планок, контрольных пластин для проведения механических испытаний и других вспомогательных деталей: сборочных планок, карманов для ЭШС и т.д. Сортамент листового проката выбирается по ГОСТ 19903 и ГОСТ 10885. После раскроя материала выбирается способ изготовления детали и соответствующее оборудование. Выбор оборудования производится по каталогам - справочникам на определенный вид оборудования.

7) Сборочные операции. Необходимо назначить способы сборки деталей и узлов между собой. Согласно требованиям отраслевых стандартов (ОСТ), руководящих технических материалов (РТМ), стандартов предприятия (СТО), строительных норм и правил (СНиП) речного и морского регистров к точности сборки определяются пути достижения данной точности, выбирается сварочное оборудование, приспособления, инструменты. От точности сборочных операций во многом зависит качество сварочных работ и работоспособность инструкции в целом. Поэтому необходимо обеспечить минимально допустимые превышения кромок соединяемых элементов. Выбрать способ и режимы выполнения прихваток.

8) Сварочные операции. Вид сварки (наплавки, пайки) выбирают из условий обеспечения высокого качества сварного соединения, производительности процесса и экономической целесообразности. На выбор вида сварки влияет также форма конструкции, конфигурация и протяженность швов, марка материала сварной конструкции, степень ответственности изделия. Проектант не должен ограничиваться лишь теми способами сварки, которые применяются на базовом предприятии. Он может использовать в проекте новые способы, более современные, отвечающие достижениям сварочной науки и техники на данном этапе, с обоснованием данного выбора. Согласно выбранному способу сварки необходимо произвести расчет режимов сварки. Если по данному способу расчетных методик нет, то параметры сварки выбираются согласно справочным данным или рекомендациям действующих стандартов предприятий (СТП). Расчет параметров сварки ведется по одному или двум видам сварки, а по остальным видам параметры выбираются по справочным данным и СТП.

После расчетов режима сварки необходимо выбрать источники питания к каждому виду сварки с целью обеспечения необходимой величины сварочного тока, устойчивости процесса сварки и необходимой мощности.

Выбираются необходимые сварочные материалы: проволока, флюс



или защитным газ, электроды для ручной дуговой сварки или наплавки. При выборе способов сварки и резки металлов рекомендуется использовать периодическую литературу; журналы «Сварочное производство», «Сварка и диагностика», «Сварщик», «Автоматическая сварка», «Нефтяное и химическое машиностроение» и др., а также материалы производственных практик.

9) Контрольные операции. Контрольные операции разделяются на 3 группы:

а) предварительный контроль исходных материалов, оборудования, оснастки;

б) послеоперационный контроль для определения качества и правильности заготовки, сборки и сварки;

в) приемо-сдаточное испытание готового изделия.

Каждая операция подлежит контролю. Согласно технологическим рекомендациям отраслевых стандартов, строительных норм и правил, регистров назначаются виды и нормы контроля по всем операциям. В зависимости от вида контроля выбирается необходимое оборудование, оснастка и инструмент.

По каждому виду сварки все сварные соединения подлежат механическим испытаниям для определения прочностных и пластических свойств. Для этого определяется предел прочности сварного соединения в МПа и угол загиба в градусах. Для конструкций, работающих при давлении свыше 5 МПа, температурах свыше 450°C и ниже минус 30°C, дополнительно определяется работа разрушения сварного соединения – ударная вязкость в Дж/см<sup>2</sup> и проводят металлографические исследования. Если изделие работает в коррозионной среде, проверяется стойкость к межкристаллитной коррозии (МКК) и другие коррозионные испытания.

10) Общая схема технологического процесса. В проекте должна быть установлена последовательность заготовительных, сборочных и сварочных

операций и определена их технологическая связь между собой.

Допуски на размеры формы изделия, а также требования к чистоте поверхности деталей и узлов определяются требованиями отраслевых стандартов, технических условий на изготовление изделия, стандартами предприятий, регистрами и т. д.

Если требуемая точность изделия выше достижимой, то назначается механическая обработка деталей, узлов и изделия в целом. В этом случае проектом при раскрое материала предусматриваются припуски на механическую обработку. Если разрыв между требуемой и допустимой точностью сварной заготовки сравнительно невелик, то принимаются дополнительные технологические меры по уменьшению сборочно-сварочных погрешностей: повышение жесткости и точности оснастки, усиление теплоотвода от зоны сварки, предварительные обратные прогибы, снижение погонной энергии при сварке, особая последовательность сборки и сварки и т. д.

Необходимо повышать точность заготовок, их взаимозаменяемость, чтобы отказаться, в большинстве случаев, от механической обработки как операции, усложняющей и удорожающей техпроцесс.

Термическая обработка назначается в ряде случаев как средство регулирования сварочных термических циклов и как метод получения требуемых эксплуатационных качеств изделия: прочность, свариваемость, пластичность: и др. В схеме процесса должен быть указан режим термической обработки: отпуск, отжиг, нормализация, стабилизирующий отжиг и место этой операции среди других.

В техпроцессе необходимо указать в режим предварительного и сопутствующего подогрева сталей, который определяется свариваемостью материала и температурой окружающей среды при сварке, а также оборудование для его выполнения.

Термическая обработка изделия производится перед проведением испытания изделия, после чего сварочные работы по исправлению дефек-

тов не допускаются. В случае обнаружения дефектов при испытаниях изделия (гидро- и пневмоиспытания в др.) необходима повторная термическая обработка. Это усложняет и удорожает техпроцесс. Поэтому необходим тщательный пооперационный контроль за качеством всех операций.

Заключительной операцией техпроцесса является зачистка поверхности и нанесение антикоррозионного покрытия на изделие.

11) Составление карт технологического процесса. Технологический процесс разработанного проекта оформляется на бланках установленной формы и является исходным документом для подготовки и организации всего производства. В технологических картах указывается последовательность операций, переходов, режимы процессов, применяемое оборудование, приспособления, инструмент и контрольные операции.

В комплекте технологических документов на изготовление изделия основными являются: маршрутная карта и операционная карта.

Маршрутная карта содержит описание технологического процесса изготовления изделия по всем операциям различных видов в технологической последовательности их выполнения с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах и является обязательным документом. При изготовлении сварных изделий в маршрутной карте могут отражаться следующие операции: правка, раскрой и вырезка деталей, ковка, горячая и холодная штамповка, вальцевание, механическая обработка, термообработка, слесарные, сборочные, сварочные, транспортные, технологического контроля, нанесение покрытий и др.

Карта технологического процесса содержит описание технологического процесса изготовления изделия по всем операциям одного вида работ, выполняемых в одном цехе в технологической последовательности с указанием данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых нормативах.

Операционная карта содержит описание технологической операции с

указанием переходов, режимов обработки и данных о средствах технологического оснащения.

В курсовом проекте студент должен составить по разработанной технологии следующую документацию:

- маршрутную карту;
- операционную карту дуговой сварки;
- операционную карту технического контроля;
- карту эскизов на отдельные операции.

12) Выбор и проектирование оснастки. Для заготовительных, сборочных, сварочных и контрольных операций необходимо подобрать стандартное оборудование.

Выбор производился по каталогам-справочникам соответствующих типов оборудования, исходя из условия качественного выполнения данной операции, габаритов, веса изделия, производительности и стоимости данного оборудования и оснастки. В случае отсутствия стандартного оборудования необходимо проектирование его. Составляется и согласовывается с руководителем черновой эскиз приспособления. Выясняется конструктивное взаиморасположение элементов оснастки: корпуса, придерживающих и фиксирующих баз, упоров, зажимных устройств и т. д. Исходя из размеров изделия, с учетом норм точности, по литературным данным и заводским материалам выбираются конкретные конструктивные размеры и типы элементов оснастки. Рекомендуется использовать типовые узлы: фиксаторы, зажимы, пневмоприборы, роликоопоры, столы, струбцины, стяжки, упоры, карманы и т. д. Производится расчет или выбор основных параметров несущих сечении элементов, оснастки: параметров зажимных устройств, размеров пневмоцилиндров и т. д. Уточняются общие конструктивные размеры узлов и всего приспособления. Вычерчиваются общие виды оснастки. На всех проекциях чертежей приспособления цветным карандашом вычерчиваются контуры изделия.

## Список использованной литературы

1. *Овчинников, В. В.* Расчет и проектирование сварных конструкций: учебник / В. В. Овчинников. – М. : Академия, 2009. – 256 с.
2. *Маслов, Б. Г.* Производство сварных конструкций: учебник / Б.Г. Маслов, А.П. Выборнов. – М.: Академия, 2007. – 251 с.
3. *Виноградов, А. А.* Основы сварочного производства : учеб. пособие / В. М. Виноградов, А. А. Черепахин, Н. Ф. Шпунькин. – М. :Академия, 2008. – 269 с.
4. *Лукьянов, В. Ф.* Изготовление сварных конструкций в заводских условиях / В. Ф. Лукьянов, В. Я. Харченко, Ю. Г. Людмирский. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. 314 с.
5. *Мещерякова, В. М.* Технология конструкционных материалов и сварка: учеб. пособие / В. М. Мещерякова. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 316 с.
6. *Кузьмин, В.И.* Проектирование и изготовление сварных колонн: учеб. пособие / В.И. Кузьмин, А.В. Савинов, Е.В. Кузьмин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2015. – 80 с.
7. *Кузьмин, В. И.* Проектирование сборочно-сварочных приспособлений: учеб. пособие / В.И. Кузьмин, В.В. Литвинов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2008. – 80 с.
8. *Ефименко, Л.А.* Металловедение и термическая обработка сварных соединений: учеб. пособие / Л. А. Ефименко, А. К. Прыгаев, О. Ю. Елагина. - М. : Логос, 2007. - 455 с.
9. *Покатаев, Е. П.* Технологические основы сварки: учеб. пособие / Е.П. Покатаев, А.В. Савинов, А.Н. Потапов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2006. – 128 с.
10. *Машиностроение: энциклопедия. Т. III-4. Технология сварки, пайки и резки.* / Под ред. К. В. Фролов. – М. : Машиностроение, 2006. – 767 с.
11. *Куркин, С.А.* Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций (Атлас) / С.А. Куркин, В.М. Ховов, А.М. Рыбачук. – М. : Машиностроение, 1989.– 328 с.
12. *Пономарев, В.А.* Универсально-сборочные приспособления для сборочно-сварочных работ (Атлас) / В. А. Пономарев, В.А., И. С. Чугунихин, Ю. В. Бородин – М.: Машиностроение, 1981. – 152 с.
13. *Никифоров, А.Д.* Типовые технологические процессы изготовления аппаратов для химических производств (Атлас) / А.Д. Никифоров. – М.: Машиностроение, 1979. – 280 с.
14. *ОСТ 26.260.480-2003.* Сварка сосудов и аппаратов из двухслойной коррозионностойкой стали.
15. *ОСТ 26.291-94.* Сосуды и аппараты сварные стальные.
16. *РД 03-605-03.* Правила безопасности и эксплуатации стальных вертикальных резервуаров

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Практическое занятие 1. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СВАРНОЙ БАЛКИ . . . . .	3
Практическое занятие 2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБЩЕЙ И МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СВАРНОЙ БАЛКИ . . . . .	13
Практическое занятие 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПОДБОР ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СВАРНОЙ ФЕРМЫ . . . . .	21
Практическое занятие 4. РАСЧЕТ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ШВОВ СВАРНЫХ СТОЕК . . . . .	31
Практическое занятие 5. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОЛИКОВЫХ СТЕНДОВ . . . . .	41
Лабораторная работа 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ . . . . .	52
Лабораторная работа 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ . . . . .	63
Лабораторная работа 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ . . . . .	67
КУРСОВОЙ ПРОЕКТ . . . . .	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	93

Учебное издание

Владимир Иванович **Кузьмин**  
Александр Петрович **Пеев**  
Евгений Владимирович **Кузьмин**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА  
СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСНАСТКИ**

*Учебно-методическое пособие*

Редактор *Н. Н. Кваша*

Темплан 2016 г. Поз. №

Подписано в печать – 2016 Формат 60×84 1/16. Бумага газетная.

Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. Уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет  
400005, Волгоград, просп. В. И. Ленина, 28, корп. 1 .

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ .  
40005, Волгоград, просп. В.И. Ленина, 28, корп. 7.