

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра**  
**«Оборудование и технология сварочного производства»**

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Методические указания к самостоятельной работе для студентов  
специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного  
производства» заочной формы обучения*



Могилёв 2017

УДК 621.791.5

ББК 30.4

П 80

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «23» мая 2017 г., протокол № 10.

Составитель: канд. техн. наук, доц. С. Н. Емельянов

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

Даны задания к самостоятельной работе по дисциплине «Проектирование сварных конструкций» для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» заочной формы обучения, а также приведены методические указания по ее выполнению, перечень необходимой литературы.

Учебно-методическое издание

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ответственный за выпуск

В. П. Куликов

Технический редактор

С. Н. Емельянов

Компьютерная верстка

С. Н. Емельянов

Подписано в печать . Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл.печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2017

## Содержание

	Стр.
1. Цель и содержание контрольной работы .....	4
2. Общие сведения о расчетах сварных конструкций.....	4
3. Расчетное задание 1 .....	5
4. Расчетное задание 2 .....	8
5. Список литературы .....	11

## 1. Цель и содержание самостоятельной работы

Целью самостоятельной контрольной работы является углубленное изучение студентами дисциплины «Проектирование сварных конструкций», развитие у студентов представлений, знаний и умений по определению условий работы разнообразных сварных конструкций, современным методам расчета и рационального проектирования, а также способам повышения эффективности производства сварных конструкций с учетом выполнения требований по снижению их материало- и ресурсоемкости.

Контрольная работа состоит из решения одной задачи. Вариант задания определяет преподаватель.

Для выполнения работы необходимо знать:

- Основы теории сварочных напряжений и деформаций.
- Характеристики конструкционных и сварочных материалов, используемых при изготовлении сварных конструкций.
- Особенности работы отдельных элементов и цельных сварных конструкций.
- Способы обеспечения технологичности, снижения напряжений и деформаций при сварке.

Рекомендуемый перечень литературных источников не исключает возможность использования другой литературы.

## 2. Общие сведения о расчетах сварных конструкций

Методы расчета сварных соединений на прочность подразделяются на 2 основные группы:



Расчеты по предельному состоянию (по несущей способности) приняты в строительных организациях. Существует несколько предельных состояний, ограничивающих возможность нормальной эксплуатации конструкций. Первое расчетное предельное состояние определяется несущей способностью конструкции: ее прочностью, устойчивостью, выносливостью при динамических и переменных нагрузках. Второе расчетное предельное состояние обусловлено наибольшей деформацией конструкции: прогибами при статических нагрузках, колебаниями при динамических. Третье расчетное предельное состояние характеризуется максимально допустимыми местными повреждениями, например, величиной раскрытия трещин, коррозией и т. п.

В основу расчета по первому предельному состоянию положены так называемые *нормативные сопротивления*  $R^{норм}$ . В качестве нормативного сопро-

тивления принят минимальный предел текучести стали  $\sigma_T$  (или предел прочности  $\sigma_B$ ). С учетом неоднородности свойств стали нормативные сопротивления заменяются *расчетными сопротивлениями*  $R$ . Расчетное сопротивление устанавливается равным пределу текучести  $\sigma_T$ , деленному на коэффициент надежности по материалу.

При расчете по первому предельному состоянию находят величины допускаемых усилий в элементах. Допускаемые усилия определяют с учетом коэффициента возможной *перегрузки конструкции*  $n$  и *коэффициента условий работы*  $m$ , учитывающего специфический характер работы конкретных объектов рассматриваемой области техники. Коэффициент перегрузки обычно принимают равным от 1 до 1,2; коэффициент условий работы для балок, колонн, резервуаров — от 0,8 до 0,9.

Допускаемые усилия в элементе при продольной силе определяют по формуле:

$$N_{\text{доп}} \leq R \frac{m}{n} A_w \quad (2.1)$$

где  $A_w$  — площадь сечения элемента.

Аналогичным путем находят допускаемый момент при изгибе:

$$M_{\text{доп}} \leq R \frac{m}{n} W \quad (2.2)$$

где  $W$  — момент сопротивления расчетного сечения

В основу расчета машиностроительных конструкций и соединений положены *ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ*, которые устанавливаются в зависимости от следующих факторов: свойств материалов, степени точности расчета прочности, рода усилий (растяжение, сжатие, изгиб и срез); качества технологического процесса; характера нагрузок (переменные или статические).

Допускаемые напряжения при растяжении  $[\sigma]_p$  называют *ОСНОВНЫМИ*. Допускаемые напряжения при других видах усилий определяются как производные от  $[\sigma]_p$ .

**3. Расчетное задание 1.** Устройство для закрепления натяжного каната, состоит из трубы 1 и приваренной к ней проушины 2 (рисунок 1). Труба сварена с опорной плитой 3 угловым швом №1 по замкнутому контуру ручной дуговой сваркой.

**Исходные данные (см. таблица 1):**

- внутренний диаметр трубы  $D$ , мм;
- толщина стенки трубы  $S$ , мм;
- расстояние  $A$ , мм;
- угол  $\alpha$ , градусы;
- катет шва  $K$ , мм;
- расчетное сопротивление  $R_{sp}^{шва}$ , МПа.

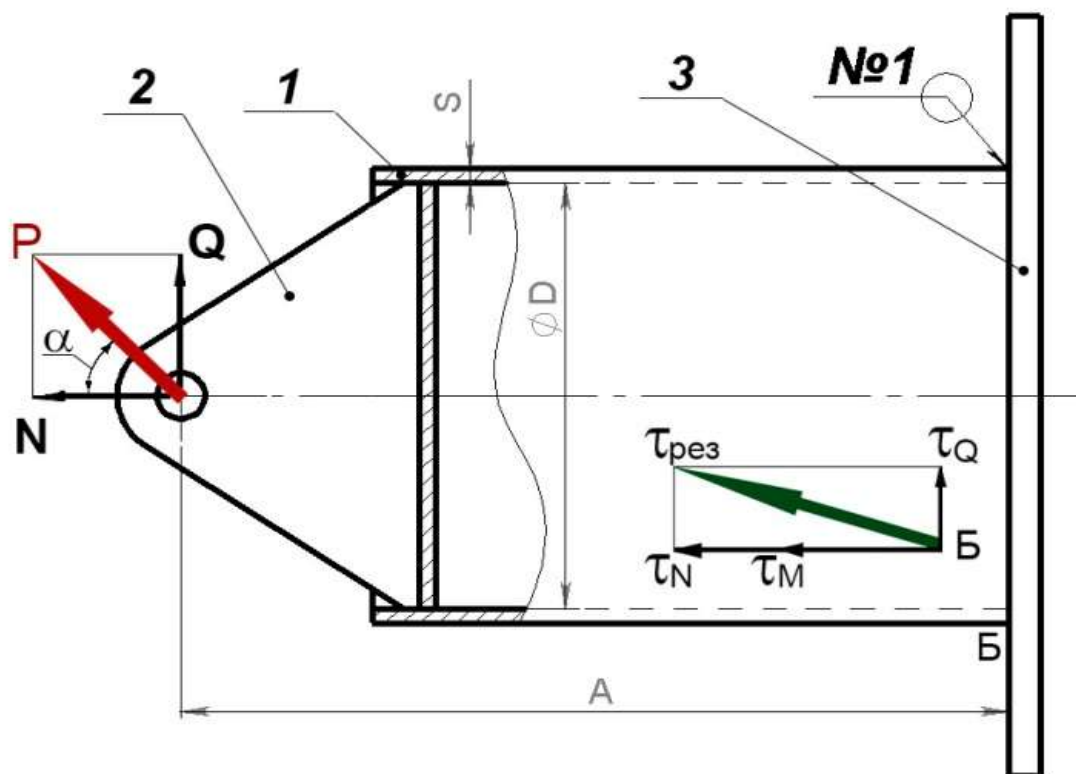


Рисунок 1 - Расчетная схема устройства для закрепления натяжного каната

Требуется определить несущую способность сварного шва №1 (силу  $P$ ). Расчет выполнить по предельному состоянию, приняв коэффициент перегрузки  $n = 1,2$ , а коэффициент условий работы  $m = 0,8$ .

Таблица 1 – Данные для расчета

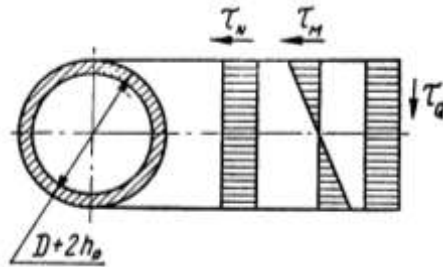
№ варианта	$D$ , мм	$S$ , мм	$A$ , мм	Угол $\alpha$ , градусы	Катет $K$ , мм	Тип электрода	Расчетное сопротивление $R_{ср}^{шва}$ , МПа
0	279	10	500	45	7	Э42	180
1	275	12	520	30	10	Э42А	180
2	305	10	540	60	8	Э46	200
3	301	12	560	45	10	Э46А	200
4	327	12	580	30	10	Э50	215
5	319	16	600	60	12	Э50А	215
6	349	14	620	45	12	Э42	180
7	341	18	640	30	14	Э42А	180
8	229	8	660	60	8	Э46	200
9	225	10	680	45	8	Э46А	200
10	199	10	700	30	8	Э50	215
11	195	12	720	60	10	Э50А	215
12	170	5	740	45	5	Э42	180
13	164	8	760	30	8	Э42А	180
14	139	10	780	60	8	Э46	200
15	135	12	800	45	10	Э46А	200

**Пример решения.** Т.к. искомая сила  $P$  направлена под углом  $\alpha$  к горизонтальной оси, то необходимо найти две ее составляющие: нормальную  $N$  и касательную  $Q$ .

$$N = P \cdot \cos\alpha = P \cdot \cos 45 = 0,7P \quad (3.1)$$

$$Q = P \cdot \sin\alpha = P \cdot \sin 45 = 0,7P \quad (3.2)$$

Под действием силы  $N$  в сварном шве возникают касательные напряжения  $\tau_N$ , направление которых в точке Б (рисунок 1) показано на векторной диаграмме:



$$\tau_N = \frac{n \cdot N}{F_{\text{шва}}} = \frac{n \cdot P \cdot \cos\alpha}{\beta K L_{\text{шва}}} = \frac{1,2 \cdot 0,7P}{0,7 \cdot 0,007 \cdot 3,14(0,279+0,02)} = 182P \quad (3.3)$$

где  $\beta$  – коэффициент расчетной толщины углового шва, характеризующий глубину проплавления шва (рисунок 2), для ручной дуговой сварки  $\beta = 0,7$ ;

$L_{\text{шва}}$  – длина шва, для шва по замкнутому контуру  $L_{\text{шва}} = \pi(D+2S)$ ;

$K$  – катет шва, мм.

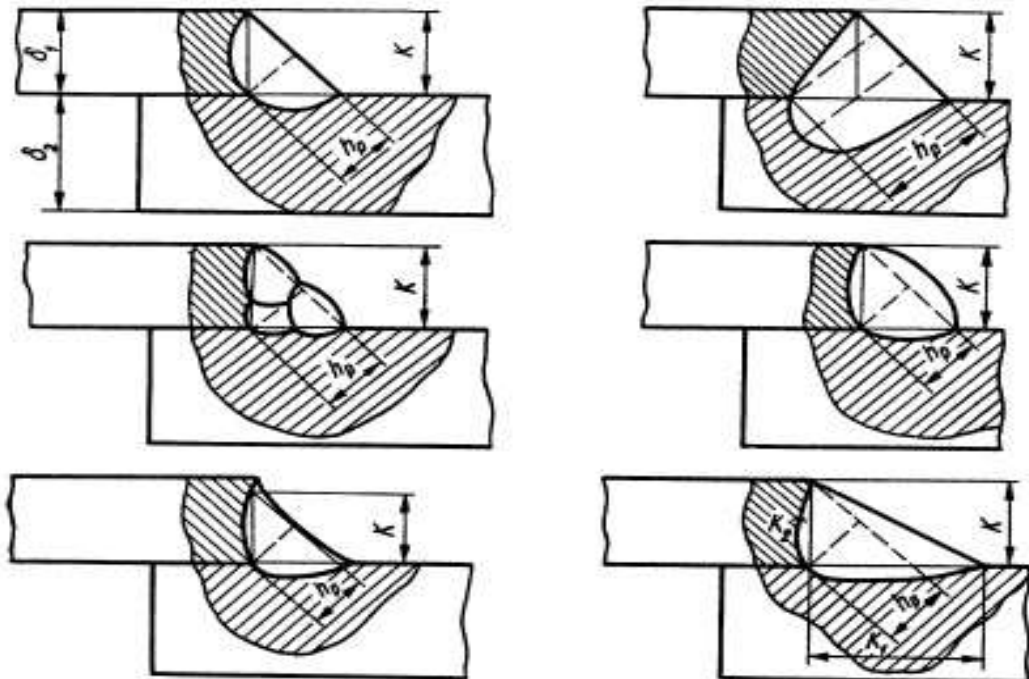


Рисунок 2 – Формы угловых швов с различной глубиной проплавления  $h_p$

Касательная сила  $Q$  вызывает в шве напряжения среза  $\tau_Q$ , направленные перпендикулярно оси трубы, и напряжения среза  $\tau_M$  от момента пары сил  $M=Q \cdot A$ , направленные так же, как и  $\tau_Q$ .

Условно считают, что перерезывающую силу  $Q$  воспринимают швы, направленные вдоль линии действия этой силы. Поэтому силу  $Q$  воспринимают швы с длиной, равной сумме проекций криволинейных наклонных участков на направление силы  $Q$ . В нашем расчетном случае для кольцевого шва:

$$\tau_Q = \frac{n \cdot Q}{\beta K \cdot 2(B+2S)} = \frac{1,2 \cdot 0,7P}{0,7 \cdot 0,007 \cdot 2 \cdot (0,279+0,02)} = 286P \quad (3.4)$$

$$\tau_M = \frac{n \cdot Q \cdot A}{W_{шва}} = \frac{4 \cdot 1,2 \cdot 0,7P \cdot 0,5}{3,14 \cdot (0,279 + 0,02 + 0,7 \cdot 0,007)^2 \cdot 0,7 \cdot 0,007} = 1177P, \quad (3.5)$$

где  $W_{шва}$  – момент сопротивления углового шва, для кольцевого шва;

$$W_{шва} = W_x = W_y = \frac{\pi}{4} (D + 2S + \beta K)^2 \cdot \beta K, \text{ м}^3 \quad (3.6)$$

Условие прочности сварного соединения:

$$\sqrt{(\tau_N + \tau_M)^2 + \tau_Q^2} \leq m R_{ср}^{шва} \quad (3.7)$$

$$P \sqrt{(182 + 1177)^2 + 286^2} = 0,8 * 180 * 10^6$$

Откуда  $P = 103,7 \text{ кН}$ .

**4. Расчетное задание 2.** На пластину 1, приваренную к пластине 2 механизированной сваркой с среде углекислого газа (рисунок 3), действует сила  $P$ , составляющая с горизонтальной осью угол  $\alpha$ .



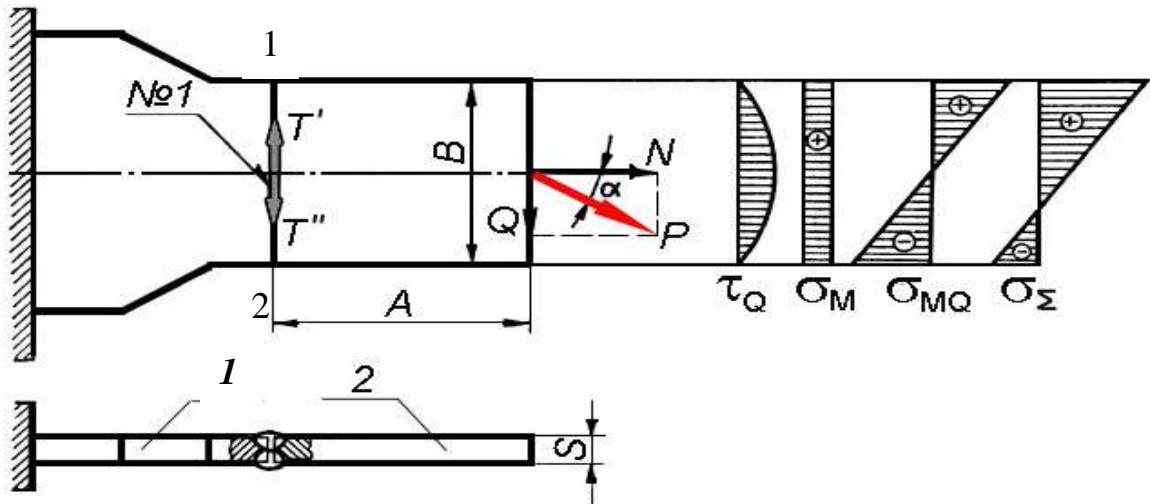


Рисунок 3– Расчетная схема

**Исходные данные (см. таблица 2):**

- расстояния  $A$  и  $B$ , мм;
- толщина свариваемых деталей  $S$ , мм;
- угол  $\alpha$ , градусы;
- сила  $P$ , кН;
- допускаемое напряжение на растяжение  $[\sigma]$  свариваемого металла, МПа.

Требуется провести проверочный расчет стыкового шва №1. Расчет вести по допускаемым напряжениям. Принять, что начало и конец шва выведены на технологические планки.

Таблица 2 – Данные для расчета

№ варианта	$A$ , мм	$S$ , мм	$B$ , мм	Угол $\alpha$ , градусы	$P$ , кН	Допускаемое напряжение на растяжение $[\sigma]$ свариваемого металла, МПа
0	600	20	300	30	100	160
1	800	6	320	60	50	
2	780	8	340	45	60	
3	760	10	360	30	70	
4	740	12	380	60	80	
5	720	16	400	45	90	
6	700	14	420	30	120	
7	680	18	440	60	110	
8	660	20	480	45	100	
9	640	18	500	30	90	
10	620	16	520	60	80	
11	600	14	200	45	70	
12	840	12	220	30	60	
13	860	10	240	60	50	
14	880	8	220	45	40	
15	900	6	200	30	30	
16	580	16	320	30	110	
17	560	14	340	60	120	

18	540	12	360	45	130
19	520	12	380	30	140
20	500	16	400	60	150
21	480	14	420	45	160
22	460	16	440	30	170
23	440	12	460	60	180
24	420	10	480	45	190
25	400	10	500	30	200
26	380	14	520	60	210
27	360	6	540	45	220
28	340	8	560	30	230
29	320	10	580	60	240
30	300	12	600	45	250

**Пример решения.** Т.к. искомая сила  $P$  направлена под углом  $\alpha$  к горизонтальной оси, то необходимо найти две ее составляющие: нормальную  $N$  и касательную  $Q$ .

$$N = P \cdot \cos\alpha = P \cdot \cos 30 = 0,866 \cdot 100000 = 86,6 \text{ кН} \quad (4.1)$$

$$Q = P \cdot \sin\alpha = P \cdot \sin 30 = 0,5P = 50 \text{ кН} \quad (4.2)$$

Под действием силы  $N$  в сварном шве возникают нормальные растягивающие напряжения  $\sigma_N$ , равномерно распределенные по длине шва:

$$\sigma_N = \frac{N}{F_{\text{шва}}} = \frac{P \cdot \cos\alpha}{S \cdot L_{\text{шва}}} = \frac{86,6 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 0,02} = 14,4 \text{ МПа}. \quad (4.3)$$

где  $F_{\text{шва}}$  – площадь расчетного сечения шва (рисунок 4),  $\text{м}^2$ ;  
 $L_{\text{шва}}$  – расчетная длина сварного шва, м;  
 $S$  – расчетная высота шва, м.

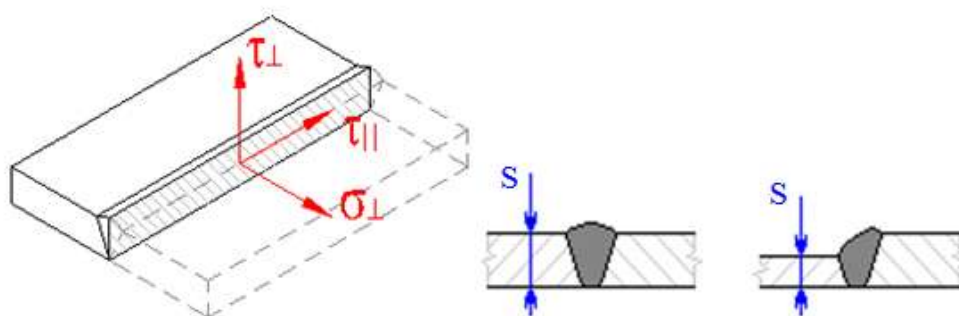


Рисунок 4 – Расчетная площадь сечения стыкового шва

Чтобы оценить действие на шов касательной силы  $Q$  приложим на оси шва две уравновешивающие силы  $T$  и  $T'$ , равные по абсолютной величине  $Q$  (см. рисунок 3).

Образовавшаяся пара сил  $Q$  и  $T$  даст момент  $M=Q \cdot A$ , под действием которого в шве возникнут нормальные напряжения, распределенные по длине шва, как показано на эпюре  $\sigma_{MQ}$ . В крайних точках сварного шва 1 и 2 (рисунок 3) напряжения от момента определяются по формуле:

$$\sigma_{MQ} = \frac{Q \cdot A}{W_{шва}} = \frac{6Q \cdot A}{S \cdot L_{шва}^2} = \frac{6 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 0.6}{0.02 \cdot 0.3^2} = 100 \text{ МПа} \quad (4.4)$$

где  $W_{шва}$  – момент сопротивления стыкового шва,  $\text{мм}^3$ .

При этом в точке 1 нормальные напряжения будут растягивающими, а в точке 2 – сжимающими. Суммарная величина напряжений в точках 1 и 2 от действия силы  $N$  и момента  $M$  определяется путем алгебраического сложения напряжений:

$$\sigma_1 = \sigma_N + \sigma_{MQ} = 100 + 14,4 = 114,4 \text{ МПа}; \quad (4.5)$$

$$\sigma_2 = \sigma_N - \sigma_{MQ} = 100 - 14,4 = 85,6 \text{ МПа}. \quad (4.6)$$

Суммарная эпюра нормальных напряжений в шве  $\sigma_{\Sigma}$  изображена на рисунке 3. Анализу будет подлежать более нагруженная точка сварного соединения, т.е. точка 1.

Оставшаяся сила  $T'$  вызовет в шве напряжения среза, максимальная величина которых может быть определена по формуле:

$$\tau_Q = \frac{Q \cdot S_{шва}}{I_{шва} \cdot S} = \frac{Q}{S} \cdot \frac{12}{S \cdot L_{шва}^3} \cdot \frac{S \cdot L_{шва}^2}{8} = \frac{3Q}{25L_{шва}} = \frac{3 \cdot 50 \cdot 10^3}{2 \cdot 0.02 \cdot 0.3} = 12,5 \text{ МПа} \quad (4.7)$$

Допускаемые напряжения для сварного шва будут равны:

$$[\sigma']_p = 0,9[\sigma] = 0.9 \cdot 160 = 144 \text{ МПа}; \quad (4.8)$$

$$[\tau'] = 0,6[\sigma] = 0.6 \cdot 160 = 96 \text{ МПа}. \quad (4.9)$$

Т.к. величина максимальных касательных напряжений значительно меньше допускаемых ( $12,5 \text{ МПа} \ll 96 \text{ МПа}$ ), а их расположение не совпадает с расположением максимальных значений нормальных напряжений, то в дальнейшем расчете касательные напряжения  $\tau_Q$  не учитываем.

Сравним максимальное значение нормальных напряжений с допускаемыми:

$$\sigma_1 = 114,4 \text{ МПа} < [\sigma']_p = 144 \text{ МПа}.$$

Т.о. условие прочности сварного шва выполнено.

## 5. Список литературы

1. **Николаев, Г.А.** Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров.– М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
2. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций: учеб.пособие для вузов/ С.А.Куркин, В.М.Ховов.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.– 464 с.
3. **Куркин, С.А.** Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве: учебник / С. А. Куркин, Г. А. Николаев. – М.: Высш. шк, 1991. – 398 с.
5. **Мандриков, А.П.** Примеры расчета металлических конструкций: учеб.пособие/А.П. Мандриков. – М.: Стройиздат, 1991.– 430 с.
6. **Серенко, А.Н.** Расчет сварных соединений и конструкций. Примеры и задачи. / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольдт, К.В. Багрянский. – Киев, Издательское объединение «Вища школа», 1977.- 336с.