

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра строительных конструкций**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам по дисциплине

### **«МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ»**

для студентов специальности

**1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»**  
дневной формы обучения

**Брест 2006**

УДК 624.014.2

Методические указания составлены в соответствии с учебной программой курса «Металлические конструкции» для специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» и действующими нормативными документами на проектирование металлических конструкций.

Указания содержат лабораторные работы, охватывающие расчет болтовых и сварных соединений, работу конструкций с концентраторами напряжений, вопросы общей устойчивости и контроля качества сварных соединений.

Методические указания рассчитаны на студентов, знакомых с основными принципами расчета стальных конструкций.

Составители: Драган В.И., к.т.н., профессор  
Мухин А.В., к.т.н., профессор

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЛР №1: «Работа и расчет элементов металлических конструкций с учетом концентраций напряжений».....	4
2. ЛР №2: «Работа и расчет сварного соединения при статическом нагружении».....	15
3. ЛР №3: «Изучение работы болтовых соединений».....	21
4. ЛР №4: «Ознакомление с магнитными методами контроля сварных соединений».....	28
5. ЛР №5: «Контроль наличия поверхностных дефектов и герметичности сварных соединений».....	32
6. ЛР №6: «Общая устойчивость сварной двутавровой балки».....	35
Список использованной литературы.....	40

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.

### «Работа и расчет элементов металлических конструкций с учетом концентраций напряжений»

*Цель работы:* ознакомить студентов с влиянием концентраторов напряжений на прочность и выносливость элементов и «хладостойкость» металлических конструкций.

#### 1. Теоретическая часть

Под концентрацией напряжений подразумевается явление возникновения местных напряжений в зонах резкого изменения сечений элементов, вблизи отверстия, выточек, надрезов, в местах расположения дефектов сварки, таких как непровар, подрезы и т.д. Причина, вызвавшая концентрацию напряжений, называется концентратором.

Степень концентрации напряжений определяется при упругом деформировании теоретическим коэффициентом концентрации напряжений, равным отношению максимальных напряжений, вызванных концентрацией к номинальным напряжениям:

$$\alpha_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma^l}; \quad \alpha_{\tau} = \frac{\tau_{\max}}{\tau}$$

На рис. 1 показана картина распределения напряжений в тонкой пластине, подвергающейся действию равномерно распределенного растягивающего напряжения с небольшим круглым отверстием. Как видно из рис. 1, концентрация напряжений, помимо возрастания местных напряжений, приводит к возникновению сложного напряженного состояния, плоского, как в данном случае, или объемного, в других случаях, что вносит свои особенности в закономерности влияния концентратора напряжений на предельное состояние.

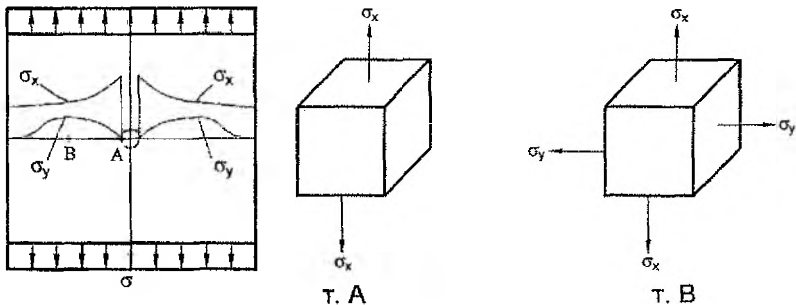


Рис. 1. Схема напряженного состояния в пластине с отверстием

Коэффициент концентрации напряжений зависит от радиуса кривизны ( $r$ ) надреза. Чем меньше радиус надреза, тем выше коэффициент. Так, у крупных отверстий  $\alpha = 1,5 \dots 3,0$ , у острых надрезов может достигать  $6 \dots 9$ . Теоретически при  $r \rightarrow 0$  (надрез типа трещины) и при идеально упругом материале коэффициент концентрации стремится к бесконечности.

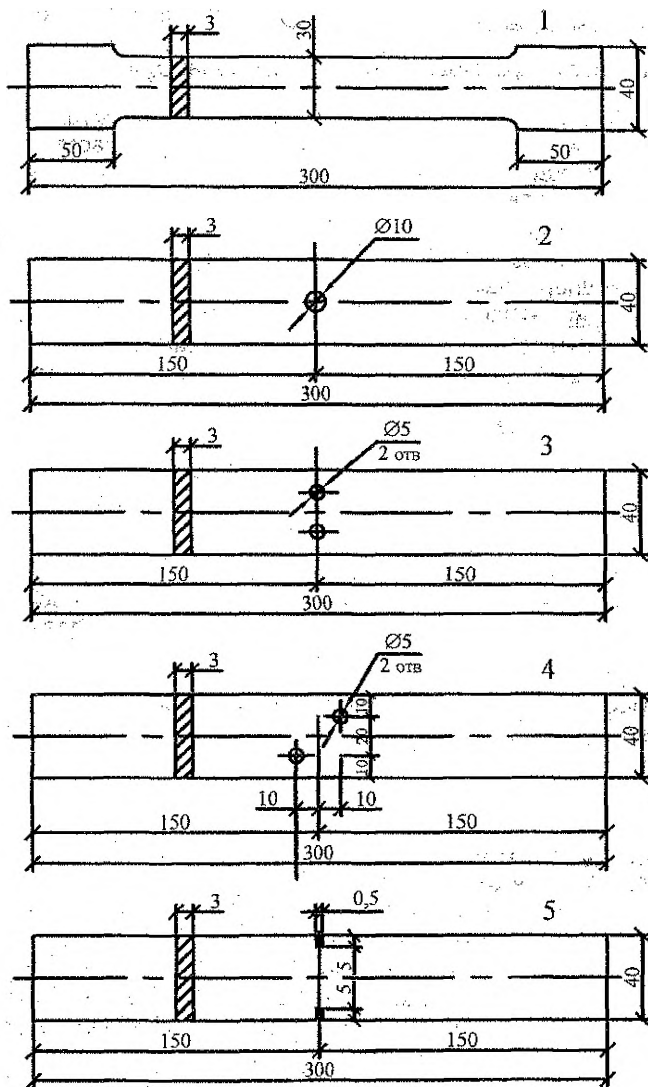


Рис. 2. Образцы для испытаний на растяжение.

В лабораторной работе исследуются пять типов образцов (рис. 2). Первый образец не имеет концентратора, образец второго типа имеет круглые отверстия диаметром 10 мм, образцы третьего и четвертого типа имеют два круглых отверстия диаметром 5 мм, пятый образец имеет два узких надреза глубиной 5 мм. Площадь нетто всех образцов одинакова и равна  $A_n = 3 \times 0,5 = 1,5 \text{ см}^2$ .

Номинальные напряжения, равные отношению растягивающей силы к площади нетто, одинаковы для всех образцов:  $\sigma_0 = \frac{F}{A_1}$ .

Это позволяет легко сопоставлять результаты испытаний.

Рассмотрим напряженное состояние образцов. При растяжении образца 1 получим однородное напряженное состояние. Силовые линии главных растягивающих напряжений  $\sigma_1$  параллельны оси образца. Площадки главных касательных напряжений наклонены под углом  $45^\circ$  к оси образца.

Напряженное состояние образцов с концентраторами напряжений является неоднородным. Силовые линии главных растягивающих напряжений искривляются и сгущаются у кромок концентраторов, появляются растягивающие напряжения второго направления  $\sigma_2$ .

Наибольшей величины касательные напряжения  $\tau_{\max}$  достигают у кромок концентраторов и равны:  $\tau_{\max} = \frac{\sigma_1}{2}$ .

По мере удаления от этих точек падают напряжения  $\sigma_1$  и возрастают напряжения  $\sigma_2$ . В связи с этим резко уменьшаются касательные напряжения, которые вычисляются по формуле:  $\tau_{\max} = 0,5 \cdot (\sigma_1 - \sigma_2)$ .

Для хрупких материалов, в которых затруднено перераспределение пластической деформации у вершины надреза, надрез всегда приводит к уменьшению прочности по сравнению с гладкими образцами. Что касается пластичных материалов, то у них до разрушения наблюдается существенное изменение напряженного состояния, в связи с переходом поверхностных слоев у надреза в пластическую область и перераспределением максимальных напряжений в глубь образца. Возможность пластической релаксации может поднять прочность и сопротивление разрушению надрезанного образца по сравнению с гладким.

## 2. Испытание образцов при статическом нагружении

Испытание образцов производится с помощью разрывной машины ИР 5145-500-10 Ивановского ОАО «Точприбор».

Испытательная нагрузка при растяжении-сжатии данной машины составляет от 0 до 500 кН, при этом номинальная цена единицы наименьшего разряда при индикации нагрузки 0,01 кН, а предел допускаемой погрешности машины при измерении нагрузки в режиме растяжения  $\pm 1\%$ , сжатия  $\pm 2\%$ . Значение скорости перемещения активного захвата находится в пределах от 0,05 до 200 мм/мин.

Программное и техническое обеспечение позволяет проводить испытание следующих видов образцов: цилиндрических, плоских, целой трубы, сегмента трубы. При окончании испытания обеспечивается получение следующей информации: наибольшей нагрузки, достигнутой при испытании; значения перемещения активного захвата с учетом упругой и пластической деформации, соответствующего наибольшей нагрузке; нагрузки разрушения образца; временного сопротивления, истинного сопротивления разрыву; относительного удлинения начальной расчетной длины; относительного сужения площади поперечного образца после разрыва.

Принцип работы машины основан на принудительном деформировании образца при одновременном измерении нагрузки, прикладываемой к образцу, и соответствующей ей величины деформации образца.

Функционально можно выделить следующие системы, обеспечивающие заданный режим работы машины: систему деформирования образца, систему электропривода (согласующий трансформатор, блок управления, сглаживающий реактор), систему автоматики (выключатель питающей сети, выключатель аварийного отключения, блок конечных выключателей, узел защиты), систему измерения силы (измеритель силы, пульт оператора ПО-3), систему измерения перемещения активного захвата испытательной установки (датчик, расположенный в неподвижной траверсе), систему измерения параметров испытания (пульт оператора ПО-3, программное обеспечение). Машина ИР 5145-500-10 работает в режимах растяжения, сжатия, циклирования нагрузки. Остановка испытания может производиться по достижению заданного значения нагрузки, заданного перемещения или по разрушению образца. За критерий разрушения образца и прекращения испытания принят спад нагрузки за 0,1 сек. на заданное число процентов (на 25%, 50%, 75%). Возможно проведение испытаний до заданной нагрузки с учетом анализа разрушения образца или без него. Если анализ разрушения введён, то при наличии спада нагрузки за 0,1 сек на заданное число процентов (образец разрушается) процесс испытания будет остановлен, даже если заданная нагрузка не достигнута. После испытания подвижная траверса может возвращаться в исходное положение автоматически или по команде оператора. Если указана предварительная нагрузка, можно указать, производить ли остановку на ней. Разрывная машина позволяет проводить испытание на усталость материала, при котором усталостное повреждение или разрушение происходит при упругопластическом деформировании.

Образцы доводятся до разрушения и одновременно записывается диаграмма растяжения в осях: сила –  $P$ , удлинение –  $\Delta$ . Примеры диаграмм, полученных при испытании серии образцов, приведены на рис. 3.

При испытании образца №1 без концентратора напряжений получаем классическую диаграмму растяжения малоуглеродистой стали. Образец разрывается после больших пластических деформаций, распространяющихся почти по всей рабочей части образца и после образования шейки. Разрыв происходит в самом узком месте шейки по плоскостям, наклоненным под углом  $45^\circ$  к плоскости образца. Разрывное усилие  $P_1$  имеет наименьшее значение, а удлинение  $\Delta_1$  – наибольшую величину по сравнению с другими типами образцов.

При растяжении образца №2 получаем диаграмму значительно отличающуюся от предыдущей. Увеличилось разрывное усилие  $P_2$  и во много раз уменьшилось удлинение образца в момент разрыва  $\Delta_1$ . Объясняется это тем, что пластические деформации развиваются не по всей длине, а только в зоне отверстия. Разрушение происходит не только сдвигом, но и отрывом в зонах уменьшения пластических деформаций.

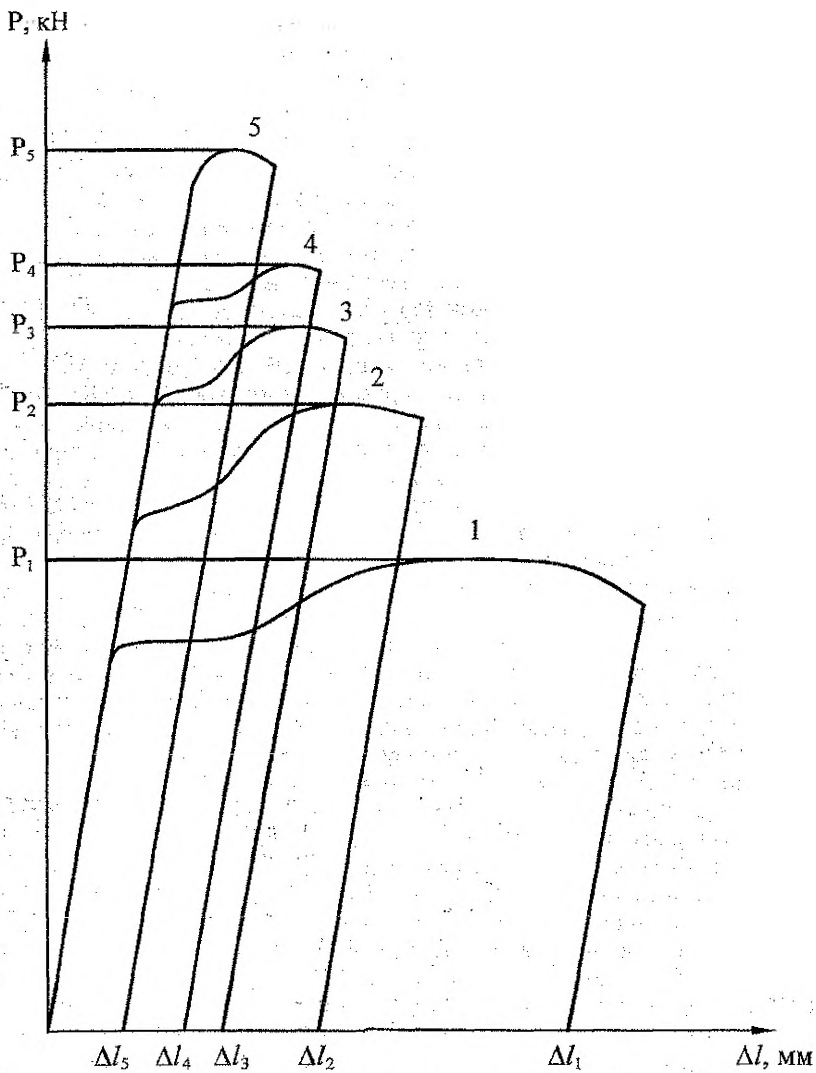


Рис. 3. Диафрагмы деформирования образцов

Аналогично разрушаются образцы №3, №4, №5. В этих образцах зоны пластических деформаций еще более локализованы у концентраторов напряжений, поэтому пластичность уменьшается, а разрывное усилие увеличивается, поскольку все меньшая часть сечения разрушается за счет сдвигов и больше за счет отрыва.

Для оценки степени влияния концентраторов определяют эффективные коэффициенты концентрации, равные отношению усилия разрыва образца



с концентратором к разрывному усилию образца без концентратора. Эти коэффициенты отличаются от теоретических, приведенных ранее, так как отражают не только упругую, но и пластическую работу материала образцов.

В нашем случае для образцов 2, 3, 4, 5 эффективные коэффициенты можно получить так:  $K_2 = P_2 / P_1$ ,  $K_3 = P_3 / P_1$ ,  $K_4 = P_4 / P_1$ ,  $K_5 = P_5 / P_1$ .

Аналогично степень пластичности образцов можно оценить как отношение удлинений:  $\beta_2 = \Delta_2 / \Delta_1$ ,  $\beta_3 = \Delta_3 / \Delta_1$ ,  $\beta_4 = \Delta_4 / \Delta_1$ ,  $\beta_5 = \Delta_5 / \Delta_1$ .

Из рассмотренного выше можно сделать выводы:

- элементы конструкций из малоуглеродистых сталей при наличии концентраторов могут разрушаться хрупко, то есть при увеличенных нагрузках, но при малых удлинениях;

- в зоне концентраторов линейное напряженное состояние переходит в плоское, при котором снижается величина наибольших касательных напряжений, являющихся причиной пластических сдвигов, а разрушение происходит частично от сдвигов, а частично от отрыва при малых деформациях;

- величина эффективного коэффициента концентрации напряжений и снижение пластических деформаций тем больше, чем острее концентратор.

### 3. Работа элементов с концентраторами при многократных нагрузках

Под сопротивлением усталости элементов конструкций понимается их способность не разрушаться под действием переменных нагрузок в течение заданного времени нагружения. Характеристики сопротивления усталости определяются при специальных испытаниях, которые заключаются в том, что образцы металлов подвергаются гармоническим нагружениям различной интенсивности до появления в них усталостных трещин или до полного разрушения.

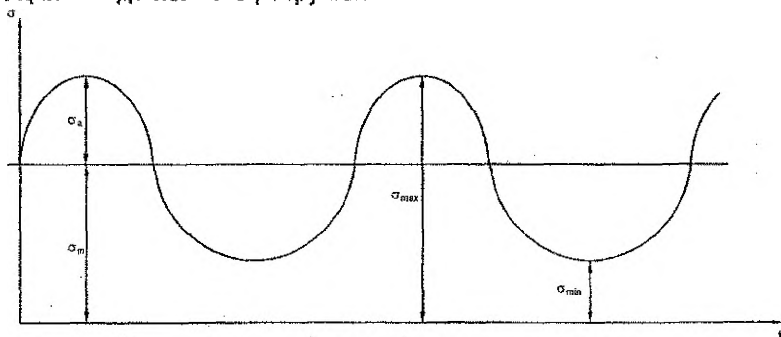


Рис. 4. Схема циклического нагружения

Интенсивность нагружения при испытаниях на сопротивление усталости характеризуется напряжениями: максимальным  $\sigma_{\max}$ , минимальным  $\sigma_{\min}$ , средним  $\sigma_m$ , амплитудами напряжений  $\sigma_a$  (рис. 4).

Коэффициентом асимметрии циклов нагружения называется отношение:

$$\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

Результаты испытаний на усталость обычно представляют в виде зависимости  $\sigma_{\max} = f(N)$ , где  $N$  либо число циклов до появления усталостной трещины (кривая 1 на рис. 5), либо число циклов до разрушения (кривая 2 на рис. 5).

Для некоторых материалов было показано, что число циклов до разрушения с момента возникновения трещины в первом зерне составляет около 90% долговечности образца. Продолжительность развития видимой трещины в гладком образце составляет 15...20%, в надрезанных 20...50% общей долговечности образца.

Максимальное напряжение  $\sigma_{\max}$ , при котором еще происходит усталостное разрушение до базы испытания  $N=10^7$  циклов для сталей и  $N=2 \times 10^7$  циклов для цветных металлов называется пределом выносливости. При симметричных циклах нагружения  $\rho = -1$ . Соответствующий предел выносливости обозначается через  $\sigma_{-1}$ .

Ни в одном другом случае характеристики сопротивления разрушению не зависят в такой степени от такого многообразия факторов, как в случае разрушения от усталости при многоцикловом нагружении. Можно выделить три группы факторов, оказывающих влияние на характеристики сопротивления усталостному разрушению.

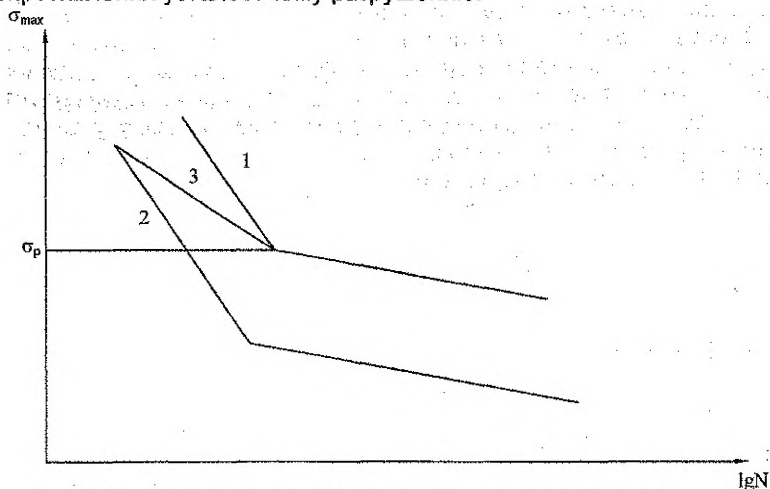


Рис. 5. Кривые усталости, соответствующие моментам:

1 - полного разрушения, 2 - появления трещины, 3 - началу образования магистральной усталостной трещины.

К первой группе относятся факторы, связанные со структурой материала и технологией изготовления образцов деталей.

Ко второй группе относятся конструктивные факторы, т.е. факторы, связанные с геометрией и размерами образца и детали. Наиболее существенным в этом случае является эффект масштаба и концентрации напряжений.

К третьей группе относятся эксплуатационные факторы, т.е. факторы, проявляющиеся в процессе эксплуатации тех или иных конструкций. К ним могут быть отнесены асимметрия цикла нагружения, вид напряженного состояния и режимы и частота нагружения, температура, коррозионная среда и другие.

Расчет на выносливость конструкций в соответствии с [1] следует производить по формуле:  $\sigma_{\max} \leq \alpha \cdot R_v \cdot \gamma_v$ ,

где:  $R_v$  - расчетное сопротивление усталости, принимаемое по таблице 32\* [1] в зависимости от временного сопротивления стали и групп элементов конструкций;

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий количество циклов нагружений  $n$ ;

$\gamma_v$  - коэффициент, определяемый по таблице 33 [1] в зависимости от вида напряженного состояния и коэффициента асимметрии напряжений  $\rho$ .

Группы элементов и соединений, учитывающие степень концентрации напряжений при расчете на выносливость, приведены в таблице 83\* [1].

Коэффициент  $\alpha$  для групп элементов 1 и 2:

$$\alpha = 0,064 \cdot \left(\frac{n}{10^6}\right)^2 - 0,5 \cdot \left(\frac{n}{10^6}\right) + 1,75.$$

Коэффициент  $\alpha$  для групп элементов 3... 8:

$$\alpha = 0,07 \cdot \left(\frac{n}{10^6}\right)^2 - 0,64 \cdot \left(\frac{n}{10^6}\right) + 2,2,$$

при  $n \geq 3,9 \times 10^6$   $\alpha = 0,77$ .

По исходным данным таблицы 1 выполнить расчет выносливости заданного узла.

### Пример 1.

Вычислить напряжение предела выносливости концентратора №16 по табл. 83\* при расчетном количестве циклов  $n = 1,2 \times 10^6$ . Материал - листовая сталь класса С255, толщина - 20 мм.

По таблице 83\* определяем группу элемента с концентратором №16 - группа 7.

Определяем нормативные и расчетные сопротивления стали (табл. 51\* [1]):  $R_m = 370$  МПа,  $R_v = 240$  МПа.

Расчетное сопротивление усталости  $R_v = 36 I \dot{a}$  (табл. 32\* [1]),

$$\alpha = 0,07 \left(\frac{n}{10^6}\right)^2 - 0,64 \left(\frac{n}{10^6}\right) + 2,2 = 0,07 \left(\frac{1,2 \times 10^6}{10^6}\right)^2 - 0,64 \left(\frac{1,2 \times 10^6}{10^6}\right) + 2,2 = 1,38.$$

Рассмотрим два расчетных значения (в отчете рассматривается одно расчетное значение в соответствии с заданием):

а) коэффициент асимметрии цикла  $\rho = -1$ ,  $\sigma_{\max}$  - растяжение,

$$\gamma_v = \frac{2,5}{1,5 - \rho} = \frac{2,5}{1,5 - (-1)} = 1 \text{ (табл. 33 [1])};$$

$$\sigma_v = \alpha \cdot R_v \cdot \gamma_v = 1,38 \times 36 \times 1 = 49,68 \text{ МПа.}$$

б) коэффициент асимметрии цикла  $\rho = 0,3$   $\sigma_{\max}$  - растяжение,

$$\gamma_v = \frac{2,0}{1,2 - \rho} = \frac{2}{1,2 - 0,3} = 2,22 \text{ (табл. 33 [1]);}$$

$$\sigma_v = \alpha \cdot R_v \cdot \gamma_v = 1,38 \times 36 \times 2,2 = 101,39 \text{ МПа.}$$

#### 4. Работа и расчет элементов с концентраторами при низких температурах

При низких температурах возможно хрупкое разрушение элементов металлических конструкций при статической и особенно при ударных и многократных нагрузках. На сопротивление хрупким разрушениям влияет целый ряд факторов, таких как наличие в стали фосфора, водорода и других загрязняющих примесей, структура стали, толщина проката и т.д. Особую роль, как и при работе на циклическое нагружение, играют концентраторы напряжений.

При расчете на хрупкую прочность концентраторы разделены на 8 групп в соответствии с табл. 83\* [1].

$$\text{Расчет ведется по формуле: } \sigma_{\max} = \frac{\beta \cdot R_u}{\gamma_u},$$

где  $\sigma_{\max}$  - наибольшее растягивающее напряжение в расчетном сечении элемента, вычисленное по сечению нетто без учета коэффициента динамичности и  $\varphi_a$ ;

$\beta$  - коэффициент для расчета с учетом хрупкого разрушения, определяется по табл. 84 [1];

$R_u$  - расчетное сопротивление по временному сопротивлению стали;

$\gamma_u = 1,3$  - коэффициент надежности по материалу при расчете на прочность по временному сопротивлению.

По исходным данным табл. 1 выполнить расчет хладостойкости заданного узла.

#### Пример 2.

Материал конструкции сталь класса С255 толщиной 20 мм, климатический район I<sub>2</sub> с расчетной температурой  $-40^\circ \geq t \geq -50^\circ \text{C}$ , концентратор №6 по таблице 83\* [1].

Расчетное сопротивление по временному сопротивлению  $R_u = 360$  МПа (табл. 51\* [1]).

По таблице 84 [1] выбираем коэффициент  $\beta = 0,8$ ,

$$\sigma_{\max} = \beta \cdot R_u / \gamma_u = 0,8 \times 360 / 1,3 = 221,5 \text{ МПа.}$$

Расчетное сопротивление  $R_y = 240$  МПа, следовательно расчет нужно вести с учетом хрупкого разрушения, а расчетное напряжение не должно превышать  $\sigma_{\max} \approx 220$  МПа.

Исходные данные для примеров расчета конструкций на выносливость и с учетом хрупкого разрушения.

Расчетные температуры для различных климатических районов:

I<sub>1</sub> -50 ≥ t ≥ -65°C;

I<sub>2</sub> -40 ≥ t ≥ -50°C;

II<sub>2</sub> -40 ≥ t ≥ -50°C;

II<sub>3</sub> -40 ≥ t ≥ -50°C;

II<sub>4</sub> -30 ≥ t ≥ -40°C;

II<sub>5</sub> t ≥ -30°C.

Таблица 1

№ п/п	Класс стали	№ концентратора по табл. 83* [1]	Количество циклов $n \times 10^6$	$\rho = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$	Знак $\sigma_{\max}$	t, мм	Климатический район
1	C-245	6	1,2	0,4	+	20	I <sub>1</sub>
2	C-255	16	1,7	0,8	+	20	I <sub>2</sub>
3	C-255	4	1,5	-0,8	-	20	II <sub>2</sub>
4	C-345	1	1,3	-0,4	+	10	II <sub>3</sub>
5	C-375	21a	1,1	0,2	+	10	I <sub>1</sub>
6	C-345	3	1,6	-0,2	-	10	II <sub>3</sub>
7	C-375	18	1,9	-0,7	-	30	II <sub>2</sub>
8	C-390	7	1,5	-1,0	+	20	I <sub>2</sub>
9	C-235	4	1,4	-0,7	-	20	I <sub>1</sub>
10	C-275	16	1,2	0,3	+	10	II <sub>3</sub>
11	C-390	7	1,3	0,6	+	10	II <sub>2</sub>
12	C-285	6	1,1	-0,4	+	20	I <sub>1</sub>
13	C-255	3	1,0	-0,5	-	10	I <sub>2</sub>
14	C-345	21a	0,7	0,4	+	10	II <sub>1</sub>
15	C-235	4	1,4	0,7	+	10	II <sub>2</sub>
16	C-245	18	1,3	0,6	+	10	II <sub>2</sub>
17	C-285	4	1,1	-0,4	+	20	II <sub>1</sub>
18	C-255	21a	1,0	-0,5	-	10	I <sub>2</sub>
19	C-345	6	0,7	0,4	+	20	II <sub>1</sub>
20	C-235	1	1,4	0,7	+	10	II <sub>2</sub>

### Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Краткое изложение теоретической части.
2. Эскизы образцов с размерами до и после испытаний.
3. Диаграмма деформирования образцов в координатах  $P, \Delta L$ .
4. Вычисление эффективных коэффициентов концентрации напряжений и степени снижения пластичности образцов.
5. Расчет элемента конструкции на выносливость заданного типового концентратора. Эскиз узла.
6. Расчет хладостойкости заданного узла.
7. Выводы по оценке влияния концентраторов напряжений на прочность, деформативность, выносливость и хладостойкость элементов металлических конструкций.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**  
**«Работа и расчет сварного соединения при статическом  
нагружении»**

*Цель работы:* ознакомить студентов с видами сварных соединений, их напряженным состоянием, влиянием конструктивных факторов и сварочных материалов на характер разрушения сварного соединения.

**1. Теоретическая часть**

**1.1. Виды сварных соединений и швов**

Сварным соединением называют неразъемное соединение, выполненное сваркой. Вид сварного соединения определяется взаимным расположением свариваемых элементов. Различают стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные соединения (рис. 1).

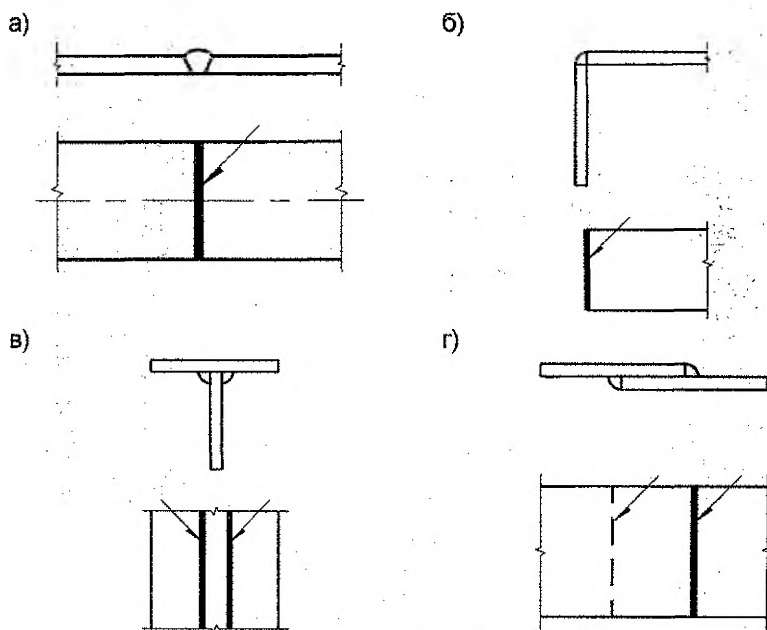


Рис. 1. Виды сварных соединений:

а – стыковое; б – угловое; в – тавровое; г – внахлестку.

Когда односторонняя или двусторонняя сварка не позволяет обеспечить полный провар, применяют разделку кромок, которая характеризуется: б - зазором, с - притуплением,  $\alpha$  - углом раскрытия стыка.

Для стыковых соединений некоторые варианты формы подготовки кромок представлены на рис. 2.

Участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации металла сварочной ванны, называется сварным швом.

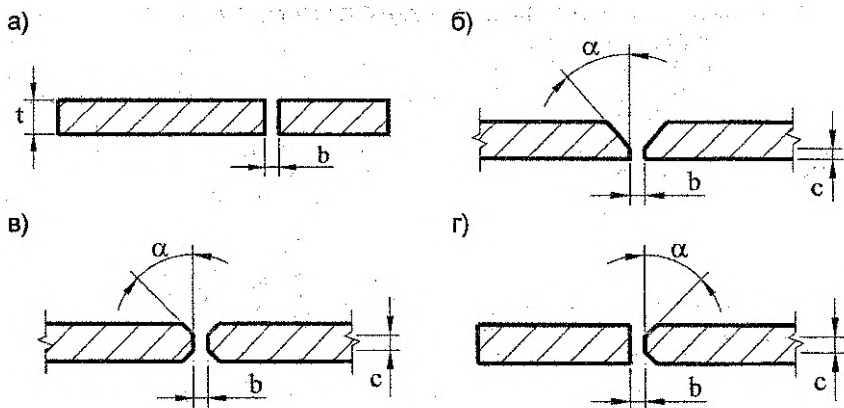


Рис. 2. Форма подготовки кромок свариваемых элементов:  
 а – без разделки; б – V-образная; в – X-образная; г – К-образная.

По конструктивному признаку швы разделяют на стыковые и угловые (валиковые). Стыковые швы выполняют в сварных стыковых соединениях, угловые швы – в угловых, тавровых и нахлесточных соединениях. Угловые швы, расположенные параллельно действующему осевому усилию, называют фланговыми, а перпендикулярно усилию – лобовыми.

По положению в пространстве швы в момент их выполнения подразделяют на: нижние, вертикальные, горизонтальные и потолочные.

Наиболее просто выполняются швы в нижнем положении и наиболее трудно – в потолочном. Поэтому при конструировании сварных соединений необходимо стремиться обеспечивать возможность выполнения сварных швов в нижнем положении, особенно в условиях монтажа.

Швы могут быть рабочими (передающими усилия) или связующими (конструктивными).

По протяженности швы бывают сплошными и прерывистыми. Прерывистые швы применяют в тех случаях, когда сплошные швы являются слабагруженными или в соединениях, где не требуется создание герметичности.

По месту производства сварочных работ швы делят на заводские и монтажные.

## 1.2. Распределение напряжений и расчет сварных соединений

В стыковых соединениях с обработанными гладкими поверхностями швов, не имеющих внутренних дефектов, напряжения от продольной силы распределяются по поперечному сечению соединяемых элементов равномерно.

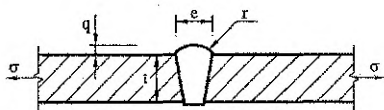
Если же поверхность шва имеет форму, показанную на рис. 3а, то распределение напряжений становится неравномерным. Зоны шва, сопрягаемые с основным металлом, испытывают концентрацию напряжений. Средние напряжения на оси шва несколько меньше напряжений в основном металле вне соединения (рис. 3б).

Коэффициент концентрации напряжений зависит от высоты усиления  $q$  и радиуса перехода  $r$ .

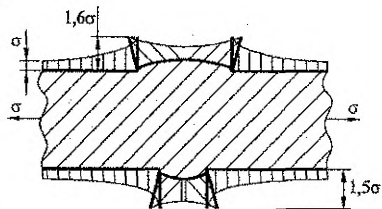
Концентрация резко возрастает при уменьшении радиуса  $r$  и увеличении высоты усиления  $q$ . Концентрация напряжений образуется также в корне шва при его непроваре.

Вторым источником концентрации может служить смещение одного элемента относительно другого.

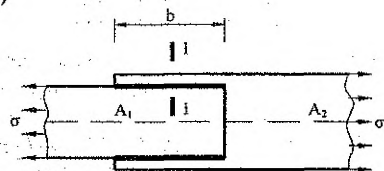
а)



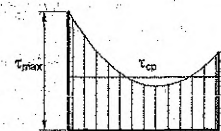
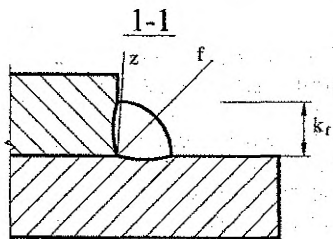
б)



в)



г)



при  $A_1 < A_2$

Рис. 3. Распределение напряжений в сварных соединениях.

Влияние концентрации напряжений на прочность при статических нагрузках не учитывается, так как из-за развития пластических деформаций происходит релаксация напряжений в точках концентрации. Расчет выполняется в предположении, что распределение напряжений в поперечном сечении шва равномерно.

$$\text{Условие прочности имеет вид: } \frac{N}{t \cdot l_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c, \quad (1)$$

где  $N$  - усилие, приложенное к соединению;

$t$  - расчетная толщина шва, равная толщине наиболее тонкого из соединяемых элементов;

$l_w$  - расчетная длина шва, равная полной его длине, уменьшенной на  $2t$ , или полной его длине в случае вывода концов шва за пределы стыка;

$R_{wy}$  - расчетное сопротивление сварного стыкового соединения, определяется согласно п. 3.4 [1];

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы, табл. 6\* [1].



В соединениях с угловыми фланговыми швами (рис. 3в) распределение напряжений вдоль шва неравномерно. Наиболее нагруженные участки шва находятся в начале и в конце шва. На рис. 3в показана эпюра распределения касательных напряжений  $\tau$  при  $A_1 < A_2$ . Если же  $A_1 = A_2$ , то максимальные касательные напряжения в начале и в конце шва одинаковы. Значение коэффициента концентрации напряжений пропорционально длине шва. Поэтому нормы ограничивают расчетную длину флангового углового шва, которая должна быть не более  $l_w \leq 85 \cdot \beta_f \cdot k_f$ , за исключением швов, в которых усилие действует на всём протяжении шва, где  $k_f$  - катет шва;  $\beta_f$  - коэффициент, определяемый по табл. 34\* [1].

В предельном состоянии концентрация напряжений уменьшается за счёт пластической деформации и распределение напряжений приближается к равномерному.

Согласно [1] расчёт соединения с угловыми швами следует вести по двум сечениям (рис. 3г): по металлу шва (сеч. f-f) и границе сплавления (сеч. z-z).

Расчет по металлу шва выполняют по формуле:

$$\frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c, \quad (2)$$

а по границе сплавления - по формуле:

$$\frac{N}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c, \quad (3)$$

где  $\beta_f$  и  $\beta_z$  - коэффициенты, учитывающие глубину проплавления шва и границы сплавления, п.11.2\* [1];

$l_w$  - расчетная длина углового шва, принимается меньше его полной длины на 10 мм;

$\gamma_{wf}$  и  $\gamma_{wz}$  - коэффициенты условий работы шва, п.11.2\* [1];

$R_{wf}$  и  $R_{wz}$  - расчетные сопротивления угловых швов срезу по металлу шва и границе сплавления соответственно;

$R_{wf}$  - определяется по табл. 56 [1];

$R_{wz} = 0,45 \cdot R_m$ ;

где  $R_m$  - временное сопротивление стали разрыву, табл. 51\* [1].

Катеты сварных швов назначаются равными 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16 мм и они должны удовлетворять условию  $k_{f,\min} \leq k_f \leq 1,2 \cdot l_{\min}$ ,

где  $k_{f,\min}$  принимается по табл. 38\*[1];

$l_{\min}$  - наименьшая толщина соединяемых элементов.

Расчетная длина углового сварного шва должна быть не менее  $4k_f$  и не менее 40 мм.

В соединениях внахлестку ее размер должен быть не менее 5 толщин наиболее тонкого из свариваемых элементов.

Формулы (2) и (3) могут быть использованы для определения разрушающей нагрузки  $N_p$ , для чего в этих выражениях расчетные сопротив-

ления  $R_{вг}$  и  $R_{вз}$  следует заменить временными сопротивлениями при сдвиге  $R_{вг}/\sqrt{3}$  и  $R_{вз}/\sqrt{3}$  ( $R_{вг}$  определяется по табл. 56 [1]).

При определении несущей способности  $N$  и разрушающей нагрузки  $N_p$  следует рассмотреть и сечение по основному металлу, то есть

$$N = A_1 \cdot R_y, \quad (4)$$

$$N_p = A_1 \cdot R_{ин}, \quad (5)$$

где  $R_y$  - расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, табл. 51\*[1].

## 2. Испытание сварных образцов с фланговыми швами при статическом нагружении осевой силой

Сварные образцы для статических испытаний осевой силой представлены на рис. 4. Отличаются они величиной нахлестки и типом электродов, применяемых для ручной электродуговой сварки. Изготовлены из малоуглеродистой листовой стали класса С235 (ГОСТ 27772-88) толщиной 6 мм.

Перед началом испытаний необходимо выполнить следующие расчеты:

- по формулам (2), (3), (4) определить несущую способность представленных образцов в соответствии с [1];

- заменив в формулах (2) и (3) расчетные сопротивления  $R_{вг}$  и  $R_{вз}$

временными сопротивлениями при сдвиге  $R_{вг}/\sqrt{3}$  и  $R_{вз}/\sqrt{3}$  соответственно, а также, используя формулу (5) определить разрушающую нагрузку  $N_p$  для каждого из образцов;

- затем следует оценить запас несущей способности в виде отношения  $N_p/N$ .

Испытание образцов производится на разрывной машине ИР 5145-500-10 ОАО «Точприбор». Образцы доводятся до разрушения.

В первом образце нахлестка элементом значительная ( $b=120$  мм). Поэтому образец №1 разрушается по основному металлу в направлении, перпендикулярном действию осевой силы  $N$ .

Второй образец имеет малую нахлестку ( $b=50$  мм), сварен электродами типа Э42, обеспечивающими относительно невысокое временное сопротивление наплавленного металла. Поэтому этот образец разрушается по металлу шва.

В третьем случае сварка ведется электродами Э60 или Э70, гарантирующими временное сопротивление металла шва большее, чем у основного металла.

Ввиду малой нахлестки соединяемых элементов, такой образец разрушается по границе сплавления.

Таким образом, характер разрушения сварных соединений определяется как конструктивными факторами (в данном случае величина нахлестки), так и применяемыми сварочными материалами.

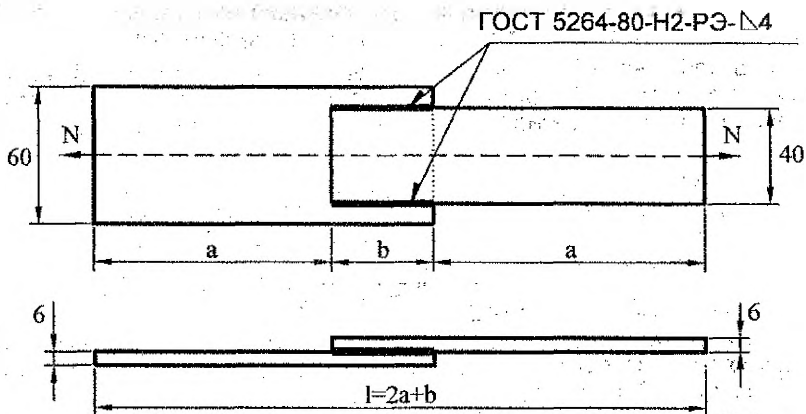


Рис. 4. Образцы для испытаний на осевое растяжение.

1. Материал: сталь класса С235 (ГОСТ 27772-88).
2. Сварка ручная электродами типа – см. табл.

№ образца	Размеры, мм		Тип электрода по ГОСТ 9467-75
	b	a	
1	120	90	Э42
2	50	160	Э42
3	40	170	Э60

### 3. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Краткое изложение теоретической части.
2. Эскизы образцов до испытаний.
3. Расчеты по определению несущей способности и разрушающей нагрузки, а также коэффициенты запаса по несущей способности для каждого из образцов.
4. Эскизы образцов после испытаний с анализом поверхностей разрушения соединений.
5. Сравнение расчетных и экспериментальных значений разрушающей нагрузки.
6. Выводы по работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 «Изучение работы болтовых соединений»

*Цель работы:* исследование работы болтовых соединений на обычных и высокопрочных болтах; проверка несущей способности болтового соединения класса точности В и болтового соединения с высокопрочным болтом.

### 1. Содержание работы

1. Определить классы испытываемых болтов соединений и величины коэффициентов, используемых при расчетах по СНиП II-23-81\*. Определить их несущую способность.

2. Выполнить сборку соединения с высокопрочным болтом с контролем величины его натяжения.

3. Выполнить сборку соединения класса точности В с одним болтом. Обработать результаты испытания, сопоставив с расчетными значениями по СНиП II-23-81\*.

4. Выполнить испытание соединения с высокопрочным болтом, сопоставив результаты с расчетными значениями по СНиП II-23-81\*.

Оборудование и материалы: два комплекса деталей болтового соединения с болтами, линейка, штангельциркуль, микроскоп МПБ2, щуп толщиной 0,30 мм, гаечные ключи, динамометрический ключ, индикаторы часового типа с удлинителями.

### 2. Общие сведения

#### 2.1. Соединения, болты

Соединения металлических конструкций, осуществляемые установкой металлических стержней в совмещенные отверстия, относятся к классу монтажных соединений на болтах, заклепках или их модификациях. Незыблемость соединяемых элементов обеспечивается за счет скрепления металлических элементов головками, имеющимися на концах стержней.

Если одна из головок формируется за счет выступающего конца стержня, то данные соединения относят к заклепочному.

Головка может формироваться за счет пластического деформирования в холодном состоянии стержня, нагретого до температуры 800...850°C клепальной скобой. При остывании стержень стягивает в пакет соединяемых элементов, обеспечивая возникновение сил трения по соприкасающимся поверхностям, которые в расчетах при передаче усилий в соединениях не учитываются. Головка также может формироваться из выступающего стержня в холодном состоянии. Болтовое соединение обычно имеет гайку, навинчиваемую на конец выступающего стержня по резьбе. Под гайку часто подкладывают одну шайбу. Противоположный конец стержня может иметь заранее выточенную или сформированную шестигранную, четырехугольную, полусферическую головку, под которую может быть установлена одна шайба.

Если стержень болта предварительно натянут путем закручивания гайки, то возникают силы трения по соприкасающимся поверхностям соединяемых элементов, которые при достаточно сильном натяжении стержня болта способны передавать усилия без существенных сдвигов. Это эффективно, если прочность болта на растяжение достаточно ве-

лика. В этом случае соединения относят к классу сдвигоустойчивых на высокопрочных болтах.

Существует также большой класс соединений, где натяжение осуществляется за счет прямого усилия натяжения выступающего стержня болта с одновременным обжатием гайки. В этом случае выступающий стержень может иметь резьбу с цилиндрическим или спиральным накатом. Регулирование силы натяжения осуществляется за счет разрыва выступающего из гайки конца стержня болта.

Такие соединения запатентованы фирмой НИСК и относятся к классу неразъемных болтовых соединений.

В соединениях металлических конструкций принимают болты 16...18 мм грубого класса точности - С, нормального класса точности - В, повышенного класса точности - А.

Болты грубой точности ставят в отверстие на 2...3 мм больше диаметра стержня и применяют для нерасчетных монтажных соединений, т.е. ставят конструктивно. В соединениях, воспринимающих расчетные усилия, ставят болты класса точности В, которые устанавливают в отверстия на 1...1,5 мм больше диаметра стержня, и болты класса точности А, которые ставят в отверстия на 0,25...0,3 мм больше диаметра стержня.

Соединения класса В и А являются малодеформативными.

В стальных конструкциях используют болты классов 4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.6; 8.8; 10.9. Эти цифры выбиваются на головке болта. Первая цифра умножена на 10. Это предел прочности материала болта  $\text{кН/см}^2$ . Вторая цифра - это отношение  $(\sigma_y/\sigma_s) \times 10$  в %. Произведение этих цифр - это предел текучести материала болта в  $\text{кН/см}^2$ .

Для крепления профилированного настила, панелей к несущим конструкциям зданий применяются самонарезающие болты из стали 30, стали 10 по ГОСТ 1050 по ОСТ 34-13-018-77 в виде комплектов БС6х20МН с металлической или неметаллической шайбой. Для этих же целей применяются самонарезающие винты по ТУ 67-269-79.

Для соединения листовых конструкций между собой применяются заклепки 3К трубчатые для односторонней заклепки тонколистовых стропильных металлоконструкций по ГОСТ 26805-86.

Для соединений алюминиевых конструкций применяются болты из алюминия по ГОСТ 102.299, стальные болты всех видов, винты, заклепки из алюминия.

Для крепления колонн, рам к фундаментам применяют фундаментные болты по ГОСТ 24379 диаметром 12...140 мм, которые изготавливают из стали Вст3кп2 болты по ГОСТ 535, 09Г2С2 по ГОСТ 19281, 10Г2С1 по ГОСТ 19281. В настоящее время для этих целей используются дюбели распорные для СМР ГОСТ 28456, дюбели-шпильки по ГОСТ 28457, которые можно применять для крепления элементов металлических и деревянных конструкций к бетонным или железобетонным конструкциям или кирпичной кладке. В Беларуси используются распорные механические или химические анкера зарубежного производства диаметром 8...30 мм, изготовленные из различных сталей и цветных металлов, эксплуатируемые при статических и динамических нагрузках. Их несущая способность на выдергивание варьируется в пределах 2,4...100 кН, на

срез 2,2...72 кН и определяется специальными нормами или формулами, представляемыми фирмами-поставщиками.

В монтажных соединениях с большими усилиями при динамических и вибрационных воздействиях применяются фрикционные соединения на высокопрочных болтах класса точности В по ГОСТ 22353, ГОСТ 22356 диаметром 16...48 мм.

На головке такого болта должна быть маркировка временного сопротивления, клеймо предприятия, условное обозначение номера плавки.

В конструкциях различного назначения допускается применять, соединения на несущих высокопрочных болтах, которые воспринимают действующие сдвигающие усилия не только силами трения, возникающими по контактным поверхностям от натяжения болтов, но и силами сопротивления срезу и смятию.

При работе элементов в условиях статического нагружения применяют соединения, получаемые пробивкой элементов металлических конструкций стержнями-дюбелями из стали 70, 70ГВ, 70К-ГВ выстреливаемыми из специальных пистолетов пороховыми зарядами [8]. Несущая способность соединения регламентируется расчетом [8]. Возможно крепление дюбелями металлических конструкций к железобетонным и бетонным элементам. Нормами ограничивается суммарная толщина присоединяемых стальных элементов не более чем 4,5 мм и толщина опорных диапазоном 4...20 мм. В Беларуси используются дюбели зарубежного производства длиной 15...70 мм из сталей SC9, SBR9 для крепления стальных элементов толщиной от 3 до 5 мм к стальным или бетонным конструкциям ( $C^{16}/_{20}$ ... $C^{22}/_{30}$ ). Несущая способность соединения из одного дюбеля при креплении к бетону или к стали ограничивается величинами 0,5 кН, 2 кН.

## 2.2. Монтаж болтовых соединений

Сборку болтовых соединений выполняют с помощью гаечных ключей, гаеквертов и прочих приспособлений. Болты устанавливают в отверстия, просверленные или пробитые специальными приспособлениями. Необходимо иметь в виду, что отверстия в прокатных профилях можно выполнять только в определенных местах, которые указаны в нормалях.

Плотность соединяемых деталей проверяется пластинкой щупа толщиной 0,3 мм, которая должна входить между поверхностями соприкасающихся деталей на глубину не более 20 мм.

В многоболтовом соединении гайки затягиваются постепенно, в два-три приема. Сначала все гайки затягивают на одну треть и далее до конца в этой же последовательности. Последовательность затяжки гаек должна быть такова, чтобы избежать искривления деталей. Гайки во фланцевых соединениях затягивают крест на крест.

Соединения на высокопрочных болтах собирают обычными, а затягивают динамометрическими ключами после контроля плотности собранных деталей.

Динамометрические ключи по принципу работы подразделяются на две группы:

- самовыключающиеся предельные с регулируемым крутящим моментом,
- динамические с указанием величины крутящего момента.

В самовыключающихся ключах при достижении заранее заданной величины крутящего момента происходит автоматическое выключение ра-

бочей части. Такие ключи имеют многодисковые фрикционные муфты, где силы сжатия дисков регулируются при помощи гайки сжимающей диски. Применяются конструкции с предельными устройствами в виде шариковой муфты. Регулировка ключа производится изменением силы нажатия пружины на полумуфту.

Во второй группе ключей может фиксироваться угол поворота ключа или величина изгибающего момента, определенная по углу поворота ключа относительно неподвижного элемента, закрепленного одним концом на рабочей головке. Угол поворота может фиксироваться стрелкой, индикатором часового типа, углом скручивания. Применяются ключи с датчиками различного типа, преобразующие различные измеренные параметры непосредственно в величину изгибающего момента.

Расчетный момент закручивания для натяжения болта определяется по формуле:

$$M = k \times P \times d \quad (H \times m),$$

где:  $k$  - среднее значение коэффициента закручивания, установленное для каждой партии болтов сертификатом завода или определяемое по результатам испытаний на монтаже;

$d$  - диаметр болта в м;

$P$  - расчетное усилие натяжения болта (Н).

### 3. Порядок выполнения работы

1. Выполнить измерения деталей болтового соединения, болтов. Выполнить чертеж соединений в сборке.

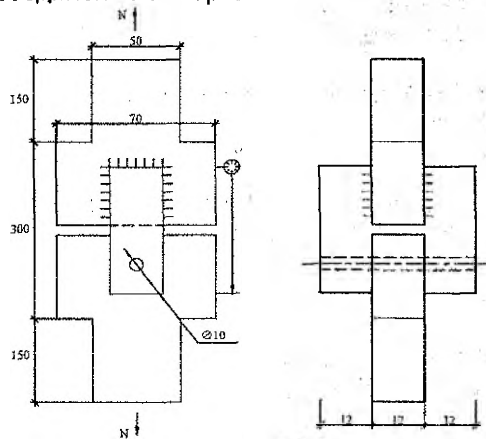


Рис. 1. Приспособление для испытания болтовых соединений.

По таблице 35\* [1] определить  $\gamma_b$ ;

по таблице 36\* [1] определить  $\mu, \gamma_h$ ;

по таблице 6\* [1] определить  $\gamma_c$ ;

Определить класс болтовых соединений по рекомендациям раздела.

2. По маркировке на головках определить прочностные характеристики болтов. При отсутствии данных, информацию об этом дает препода-

ватель или лаборант. Выбрать из таблиц 5\*, 58\*, 59\*[1] те, по которым следует определить расчетные сопротивления обычных болтовых соединений. Вычислить и записать их значения. По таблице 61\*[1] определяют механические свойства высокопрочного болта, или эту информацию дает преподаватель или лаборант. По таблице 62\*[1] определяют площади сечений болтов и сопоставляют их с измеренными.

Определяют с помощью микроскопа МПБ2 шаг резьбы, глубину резьбы. Вычисляют площадь сечения высокопрочного болта.

Несущая способность соединения с обычным болтом определяется по формуле:

$$N \leq n \cdot \gamma_c \cdot N_{\min},$$

где:  $n$  - число болтов,

$N_{\min}$  - принимается минимальным из условия среза или смятия соединяемых элементов.

$$\text{Срез: } N_b = R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot A \cdot n_s,$$

где:  $A = \pi \cdot d^2 / 4$  - площадь стержня болта,

$n_s$  - число расчетных срезов болта,

$\gamma_b$  - коэффициент условий работы болтового соединения,

$R_{bs}$  - расчетное сопротивление среза болта,

$d$  - диаметр стержня болта,

$$\text{Смятие: } N_b = R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot d \cdot \sum t_{\min},$$

где:  $R_{bp}$  - расчетное сопротивление смятию соединяемых элементов,

$d$  - диаметр стержня болта,

$\sum t$  - суммарная толщина элементов, сминаемых в одном или другом направлениях.

Несущая способность соединения на высокопрочных болтах определяется по формуле:

$$N \leq n \cdot Q_{bh} \cdot k \cdot \gamma_c,$$

где:  $n$  - число болтов,

$k$  - количество поверхностей соединяемых элементов,

$Q_{bh}$  - расчетное усилие, которое может быть воспринято одной поверхностью трения.

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \cdot \gamma_b \cdot A_{bh} \cdot \mu}{\gamma_h},$$

где:  $A_{bh}$  - площадь болта нетто,

$\mu, \gamma_h$  - принимается по таблице 36\*[1],

$\gamma_b$  - см. п. 11.13 [1];  $\gamma_b = 0,8$ ,

$R_{bh}$  - расчетное сопротивление растяжению;  $R_{bh} = 0,7 \cdot R_{bтп}$ ,

$R_{bтп}$  - наименьшее временное сопротивление болта разрыву, принимают по таблице 61\*[1].

### 3.1. Сборка болтовых соединений

Собирают соединения с обычным болтом и высокопрочным, контролируя плотность шулом.



Вычисляют угол поворота гайки высокопрочного болта для создания в стержне болта усилия натяжения  $N = 0,7 \times R_{\text{бун}} \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ ;

Угол поворота гайки  $\alpha$  в градусах:

$$\alpha = 0,7 \cdot \frac{A_{\text{бн}} \cdot R_{\text{бун}} \cdot 360^\circ}{A_b \cdot s \cdot E} \cdot \sum t,$$

где:  $A_{\text{бн}} = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}$ ;  $E = 2,06 \times 10^5$  МПа;  $s$  - шаг резьбы, мм,

$\sum t$  - длина стержня болта после сборки от внутренней поверхности головки до середины гайки, мм.

Закрепив головку болта, затягивают гайку на угол поворота  $\alpha$ .

#### 4. Испытание болтовых соединений

##### 4.1. Испытание соединения с обычным болтом

Устанавливают болтовое соединение с обычным болтом в разрывную машину. Монтируют индикатор часового типа.

Выполняют нагружение соединения ступенями в  $0,2 \cdot N$ , записывая отсчеты  $m$  по индикатору, записывая результаты в таблицу.

Результаты испытания соединения с болтом М... класса ..., соединения класса....

Таблица 1

$N$ , кг	$m$ , мм
1	
2	
3	
.....	
$N$	
$N = kH$	

Строят график  $N, m$ .

Определяют для момента разрушения:

$$\tau = \frac{N}{\pi \cdot d^2 / 4}; \sigma_p = \frac{N}{d \cdot (\sum t)};$$

Вычисляют отношение  $N_n / N$ .

##### 4.2. Испытание соединения с высокопрочным болтом

Соединение с затянутым болтом устанавливают в разрывную машину. Устанавливают индикатор ИЧ-10. Выполняют нагружение болтового соединения ступенями в  $0,2 \cdot N$ , фиксируя результаты в таблицу 1, подготовленную для данного испытания.

За разрушающую нагрузку  $N_n$  принимают нагрузку, при которой произошел сдвиг.

Вычисляют отношение  $N_n / N$

#### 5. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Теоретические сведения.
2. Содержание п.3...п.4.
3. Выводы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### «Ознакомление с магнитными методами контроля сварных соединений»

*Цель работы:* ознакомиться с магнитными методами контроля сварных соединений. Изучить магнитографический метод контроля сварных швов.

#### 1. Методы магнитного контроля сварных соединений

Сущность магнитных методов контроля заключается в обнаружении отклонении магнитных силовых линий и магнитных полей рассеивания.

Существует следующие способы контроля сварных швов магнитными методами: магнитная порошковая дефектоскопия, магнитографический метод контроля. Электромагнитные методы контроля: индукционный, вихревой, феррозондовый и т.д. Наибольшее распространение получили два первых метода. Возможно обнаружение в сварных швах и металле трещин, непроваров, шлаковых включений, газовых пор и волосовин, закатов, флокенов.

##### 1.1. Магнитная порошковая дефектоскопия

Этот метод применяется для обнаружения поверхностных трещин с шириной раскрытия от 1 мкм и глубиной, начиная с 10 мкм, и дефектов, находящихся на глубине до 8 мм [7].

Порядок контроля сварных швов магнитным методом следующий: сварной шов намагничивают шарнирными электромагнитами, магнитами «карандашами», локально-магнитными пиявками. Ферромагнитные порошки на намагниченную поверхность наносят распылением, а суспензии поливом или погружением изделий в ванны.

Применяются ферромагнитные порошки (толченая стружка серого чугуна, магнетит) с размерами частиц не более 10 мкм.

При мокром методе контроля швов поливают суспензией из частиц этих порошков, находящихся во взвешенном состоянии в смеси масла и керосина, раствора олеяного мыла в воде. В местах дефектов наблюдается поле рассеивания, в котором и контролируются частицы порошка, повторяющие своими скоплениями форму дефекта шва.

Основным достоинством данного метода является простота и наглядность.

Недостатки – концентрация порошка в местах перехода валика к основному металлу и на участках сварного шва.

##### 1.2. Магнитографический метод контроля

Данный метод применяется в строительстве и промышленности с середины XX века. Он основан на намагничивании зоны сварного шва, фиксации возникающих в местах дефектов полей рассеивания на ферромагнитной ленте, воспроизведением записанных на ленте магнитных отпечатков.

а) Области применения, материалы, оборудование.

При данном к поверхности шва, очищенного от грязи, льда, воды, остатков шлака, металлических брызг, прижимают эластичную ленту и шов вместе с лентой намагничивают до состояния близкого к насыщению. Метод магнитографического контроля от других магнитных методов отличается тем, что на магнитной ленте фиксируется размер и расположение дефектов различной величины, что позволяет производить количественную и качественную их оценку, магнитная шкала может ис-

пользоваться в качестве документа, характеризующего данный сварной шов. Этот метод может применяться для проверки качества сварных труб, листовых конструкций и т.д. В настоящее время контролируют сварные соединения при толщине металла от 1 до 16 мм. Метод контроля сварных швов возможно применять в заводских и полевых условиях. Метод позволяет выявлять трещины и непровары глубиной до 8% толщины стыкового шва и газовые поры и раковины размером от 1,5 мм.

При магнитографическом контроле применяют двухслойные ленты, шириной 35 мм типов МК-1, МК-2, и др. Ленты должны иметь следующие свойства: иметь достаточную прочность, эластичность, коррозионную стойкость, отсутствие надрывов, иметь оптимальные магнитные свойства, характеризующиеся высокой чувствительностью в процессе записи полей рассеивания от дефектов; накапливать достаточно большую магнитную энергию полей рассеивания при записи в виде остаточного магнитного потока.

Прежде, чем приступить к записи, ленту в обязательном порядке намагничивают и наматывают на кассету. Транспортировка и хранение ленты должно производиться с соблюдением мер предосторожности от случайного намагничивания ее посторонними полями.

Перед записью ленту со стороны магнитного слоя накладывают на сварной шов и прижимают к нему возможно более плотно резиновыми жгутами. Намагничивание сварных швов и ленты производят постоянными магнитными полями, создаваемыми намагничивающим устройством.

Намагничивающие устройства бывают подвижными, перемещаемыми, неподвижными, охватывающими весь периметр шва.

Наиболее совершенны и удобны для применения намагничивающие устройства типа ПНУ. Данное устройство состоит из двух мощных полюсов, скрепленных сердечниками, на которых смонтированы индукционные катушки. Вся конструкция объединена одним стальным каркасом, установленным на четыре колеса из немагнитного материала. При подключении катушек к источнику питания возникает магнитный поток, пересекающий сварной шов.

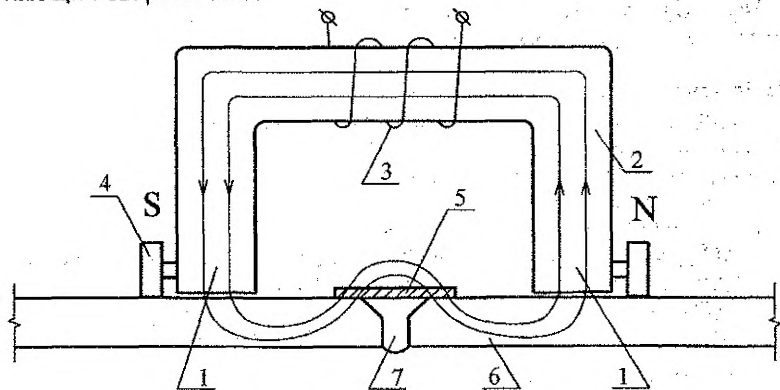


Рис. 1. Схема намагничивания:

1 – полюса ПНУ; 2 – сердечник; 3 – катушка; 4 – колеса ПНУ; 5 – магнитная лента; 6 – изделие; 7 – сварной шов с дефектами.

Воспроизведение магнитной записи производится электронными приборами, состоящими из блока питания, лентопотяжного механизма для подачи и перемещения магнитной ленты, блока считывания с воспроизводящими магнитными головками, электронной части воспроизводящей на электронно-лучевой трубке записанные магнитные отпечатки. Применяется три вида индикации на экранах: импульсная в виде кривой, телеизображение и комбинация из двух перечисленных.

В настоящее время находят применение согласно [6] следующие типы магнитных дефектоскопов: МД-9; МД-11; МГК-1 и т.д.

Магнитографический контроль качества сварных швов должен выполняться операторами, прошедшими специальную подготовку.

Настройку магнитографической аппаратуры проводят по эталонным магнитным лентам, полученным при записи швов, с искусственными дефектами определенных размеров. Дефектоскопы перед началом работы следует регулировать по данным лентам.

В процесс проверки оператор просматривает предварительно кадры с изображением шва. Газовые поры и шлаковые включения появляются на телекране в виде темных пятен, непровары – в виде черных линий, смещенных от оси шва, подрезы – в виде широких темных линий по краям швов, трещины – в виде зигзагообразных или прямых линий с неровными краями. Обнаружив дефекты, оператор на ленте с обратной стороны делает необходимые пометки, отмечает их в протоколе испытаний.

Преимуществами магнитографического метода контроля являются:

1. Высокая производительность.
2. Достаточно высокая чувствительность к выявлению трещин и узких непроваров (стр. 361 [6]).
3. Экономичность (низкая стоимость ленты и небольшая трудоемкость).
4. Безопасность для обслуживающего персонала.

Недостатки:

1. Небольшая толщина стыковых швов до 16 мм (стр. 141 [7]).
2. Проверка только стыковых швов.
3. Необходима специальная подготовка поверхности шва или шов с достаточно гладкой поверхностью.

## **2. Порядок выполнения работы**

1. Ознакомление с оборудованием и материалами:

- а) магнитографическим дефектоскопом типа МГК-1;
- б) намагничивающим устройством типа ПНУ4;
- в) магнитными лентами;
- г) сварными образцами с дефектами.

2. Подобрать намагничивающий ток для сварного образца по инструкции.

3. Собрать схему намагничивания, согласно рис. 1.

4. Произвести запись.

5. Просмотреть сделанную запись из дефектоскопа.

## **3. Требования к отчету**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Теоретические сведения.
2. Выводы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### «Контроль наличия поверхностных дефектов и герметичности сварных соединений»

*Цель работы:* изучить основные методы контроля наличия поверхностных дефектов и герметичности сварных соединений, освоение техники проверки плотности сварных швов керосином.

К наружным дефектам относят: нарушение размеров и формы шва от требований стандартов, подрезы, поверхностное окисление, прожоги, наплывы, незаваренные кратеры, свищи. К внутренним дефектам принадлежат: трещины, непровары, поры, шлаковые, вольфрамовые и окисные включения, межкристаллитная коррозия. Ряд дефектов выходящих на поверхность сварных швов невозможно обнаружить визуальным контролем ввиду небольших размеров. Визуально обнаруживаемыми они становятся при цветной дефектоскопии по ГОСТ 14782 и использовании ряда методов, применяемых при испытании на герметичность по ГОСТ 3242.

#### 1. Цветная дефектоскопия

Метод основан на капиллярном проникновении, диффузии обычных, световых контрастах или возбуждающих под действием ультрафиолетового излучения. Различают цветную и люминесцентную дефектоскопию с различными проявителями. Явление капиллярного проникновения используется для внедрения в мелкие трещины или поры пенетрантов (индикаторных жидкостей). Пенетрант в дефектах поглощает проявитель, который наносится на поверхность после удаления с неё индикаторной жидкости. Проявитель обеспечивает рисунок и фон, улучшающий видимость дефектов. Чаще всего применяют пенетранты, дающие красный цвет на белом или другом фоне проявителя. Данная методика позволяет выявить трещины с раскрытием 1...10 мкм с длиной 0,1...0,5 мм и глубиной 0,01...0,3 мм. В практике применяют четырех- или трехкомпонентные наборы в аэрозольной упаковке или жидкие наборы, включающие три компонента. Наборы включают кисти, щупы, фонари, распылительные головки, ультрафиолетовые облучатели. Следует отметить, что дефектоскопия с применением аэрозоля проводится при положительной температуре. Рекомендуется проводить контроль сразу после сварки при температуре изделия до 50°C. Необходимо учесть, что применение данного метода затрудняет ультразвуковой контроль.

##### 1.1. Техника цветной дефектоскопии

С поверхности шва и зоны по 50 мм с каждой стороны удаляют все инородные материалы. Поверхность обезжиривается растворителем. Рекомендуется поверхность нагреть до положительной температуры с целью ускорения процесса диффузии. На неё наносят аэрозольным способом, распылением или кисточкой пенетрант (краситель на основе анилина; красная индикаторная краска). После выдержки, время которой регламентируется инструкцией (3...30 мин.), избыток индикаторной жидкости удаляют. На следующем этапе на поверхность наносят тонкий слой проявителя, который взаимодействует с пенетрантом в зонах дефектов, изменяя его цвет, или выделяет его после капиллярного проникновения снова на поверхность на своем белом фоне.

## **2. Контроль герметичности**

В настоящее время наибольшее распространение при контроле герметичности сварных швов получили следующие методы: пневматические испытания, гидравлические испытания, вакуум-метод контроля плотности, испытания методом химических реакций (аммиаком), проверка плотности швов керосином, течеискателями (гелиевыми, галоидными).

### **2.1 Пневматические испытания**

Испытанию с чистым воздухом или газом подвергают сосуды и трубопроводы, работающие под давлением, резервуары, кожухи доменных печей и т.д. Плотность и прочность швов проверяют нагнетанием воздуха в сосуды и аппараты под давлением 5...8 атм. Плотность швов определяется по звуку выходящего воздуха, запаху добавляемого в воздух одаранта — этилмеркаптана ( $C_2H_5SH$ ), вспениванием в неплотных местах швов, предварительно обмыленных, пенного индикатора, по падению давления воздуха и другими методами.

### **2.2 Гидравлические испытания**

Испытания наливом воды проводятся для вертикальных резервуаров, газгольдеров и т.п. Емкость заполняют водой и выдерживают в таком состоянии не менее 2 часов. В это время тщательно наблюдают за проявляемыми дефектами в швах, падением уровня воды. Категорически запрещается в это время обстукивание швов и корпуса емкости во избежание ее разрушения.

В ряде случаев трубопроводы и котлы проверяют гидравлическим давлением, равным 1,25...2 рабочего давления. Здесь одновременно проверяется герметичность швов и прочность соединений и конструкции в целом.

### **2.3 Вакуум-метод**

Данный способ контроля заключается в создании вакуума на одной стороне контролируемого участка шва и в регистрации проникания воздуха через неплотности шва.

Методика контроля следующая: очищенный участок покрывают раствором пенного индикатора; устанавливают на это место вакуум-камеру, подключенную к вакуум-наосу. Внутри камеры создается вакуум порядка 500...600 мм ртутного столба, регистрируемый вакуум-метром.

При наличии неплотностей, через прозрачную поверхность камеры, наблюдаются пузыри.

Контролируются данным методом любые швы и с одной стороны. Производительность контроля — 1 м/мин.

### **2.4 Метод химических реакций**

Метод основан на измерении окраски некоторых индикаторов, например, фенолфталеина при воздействии щелочей. Его применяют при контроле сварных швов резервуаров и трубопроводов.

Сущность метода заключается в создании избыточного давления воздушно-аммиачной смеси с одной стороны шва и фиксированием проникания с другой стороны по изменению цвета индикатора. Метод имеет высокую производительность, стоимость весьма незначительна.

Недостатки: необходимость незначительной очистки от щелочных шлаков, промывки швов водой, невозможность выявления мелких дефектов.

### **2.5 Контроль течеискателями**

Принцип работы течеискателей основан на высокой способности гелия, галоидов, хлороформа, четыреххлористого углерода, фреона проходить через неплотности сварных швов. Чувствительность гелиевых течеискателей в два раза выше чем всех прочих, но, учитывая его высокую стоимость, его применяют для контроля особо ответственных конструкций.

### **2.6. Проверка плотности швов керосином**

Метод основан на том, что жидкости, обладающие высоким поверхностным натяжением, хорошо проникают через самые мелкие неплотности в сварных швах. Проницаемость керосина через капилляры определяется в основном вязкостью керосина при данной температуре.

Шов очищают от грязи и ржавчины. С наружной стороны окрашивают раствором мела в воде. После высыхания мела, шов с противоположной стороны обильно смачивают керосином. Смачивание производят опрыскиванием поверхности струей керосина, подаваемого под давлением из краскопульты, бачка керосинореза или паяльной лампы. При их отсутствии швы 2...3 раза протирают тряпкой или губкой, обильно смоченной в керосине.

При контроле двухсторонних нахлесточных швов керосин впрыскивают под нахлестку через специально просверленные в верхнем листе отверстия. Дефекты видны по желтым пятнам проникаемого через неплотности керосина. Дефектные места вырубают, подваривают и контролируют вновь. Данный метод хорошо зарекомендовал себя в строительстве, как хорошо надежный и хорошо выявляющий неплотности сварных швов.

Однако он имеет значительные недостатки:

а) необходим двухсторонний доступ к сварному шву, что не всегда возможно;

б) проникновение керосина обнаруживается через значительное время. По данным ВНИИСТА и монтажных организаций, это время колеблется в пределах 3...24 часа. В технических условиях это время равняется 12 часам.

В целях ускорения процесса контроля разрешается смазывать керосином швы, предварительно нагретые до 60...70 °С. В этом случае процесс контроля сокращается до 1,5...24 часа, т.к. вязкость керосина значительно снижается и скорость проникновения увеличивается.

### **3. Требования к отчету**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Теоретические сведения.
2. Выводы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### «Общая устойчивость сварной двутавровой балки»

*Цель работы:* изучить закономерности деформирования сварной двутавровой балки при потере ею общей устойчивости. Изучить методику расчёта общей устойчивости изгибаемых элементов.

#### 1. Теоретическая часть

Для изгибаемых элементов в большинстве случаев их работы расчётом проверяются следующие предельные состояния: первой группы – вязкое или усталостное разрушение, потеря устойчивости, а также текучесть материала; второй группы – достижение предельных перемещений.

При расчётах изгибаемых элементов проверяется как местная устойчивость отдельных элементов сечения стержня, так и общая устойчивость сечения стержня в целом.

При потере общей устойчивости изгибаемый элемент (например, балка) при расположении нагрузки в плоскости главной оси инерции сначала изгибается в своей плоскости, затем при достижении нагрузкой критического значения начинает закручиваться и выходить из плоскости изгиба (рис. 1).

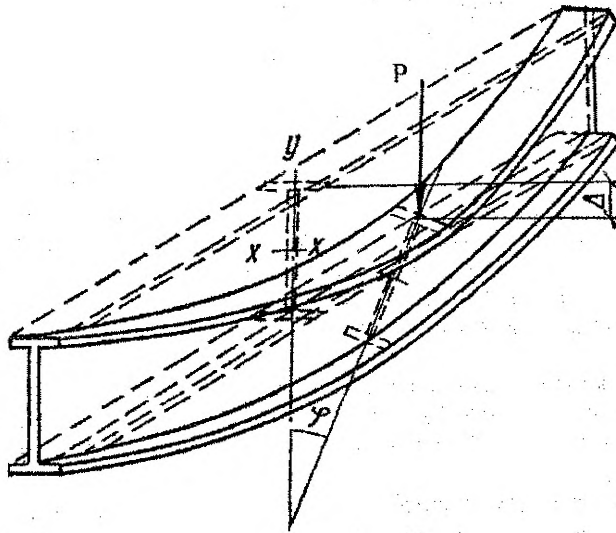


Рис. 1. Потеря устойчивости двутавровой балки при изгибе.

Приводя действующую нагрузку к одной эквивалентной сосредоточенной силе  $P$ , приложенной к середине пролета, для балок симметричного сечения, у которых центр изгиба совпадает с центром тяжести, можно определить критическое значение нагрузки. Критическое значение силы  $P_{кр}$  находят из условий равенства приращения работы внешних сил на



случайных отклонениях балки из плоскости изгиба и приращении работы получающихся при этом внутренних напряжений.

Критическое напряжение потери общей устойчивости зависит от положения нагрузки на балке; нагрузка, расположенная по верхнему поясу балки, увеличивает скручивание, расположенная по нижнему поясу – уменьшает его. Поэтому расположение нагрузки по верхнему поясу значительно опаснее.

В несимметричных двутавровых балках с более развитым верхним поясом центр изгиба не совпадает с центром тяжести, и поэтому они закручиваются сильнее; однако это компенсируется тем, что момент инерции относительно оси у у сжатого более мощного пояса больше, а поэтому и его поперечная жесткость больше. В результате критические напряжения для несимметричных балок даже с достаточно большой асимметрией ( $J_{y1}/J_{y2} \approx 4$ ) остаются примерно такими же, как для симметричных.

## 2. Расчётная часть

Расчет на устойчивость балок двутаврового сечения, изгибаемых в плоскости стенки и удовлетворяющих требованиям пп. 5.12 и 5.14\* [1] (т.е. проверенных по нормальным, касательным и приведенным напряжениям), следует выполнять по формуле:

$$\frac{M}{\varphi_a \cdot W_c} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (1)$$

где  $W_c$  - момент сопротивления для сжатого пояса;

$\varphi_a$  - коэффициент снижения расчетных сопротивлений при изгибно-крутильной форме потери устойчивости балок, определяемый по прил. 7\* [1] (обычно называемый  $\varphi_a$  - балочный).

Таблица 1

Место приложения нагрузки	Наибольшие значения $l_{ef}/b$ , при которых не требуется расчет на устойчивость прокатных и сварных балок (при $1 \leq h/b < 6$ и $15 \leq b/t \leq 35$ )
К верхнему поясу	$\frac{l_{ef}}{b} = \left[ 0,35 + 0,0032 \cdot \frac{b}{t} + \left( 0,76 - 0,02 \cdot \frac{b}{t} \right) \cdot \frac{b}{h} \right] \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}}$
К нижнему поясу	$\frac{l_{ef}}{b} = \left[ 0,57 + 0,0032 \cdot \frac{b}{t} + \left( 0,92 - 0,02 \cdot \frac{b}{t} \right) \cdot \frac{b}{h} \right] \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}}$
Независимо от уровня приложения нагрузки при расчете участка балки между связями или при чистом изгибе	$\frac{l_{ef}}{b} = \left[ 0,41 + 0,0032 \cdot \frac{b}{t} + \left( 0,73 - 0,016 \cdot \frac{b}{t} \right) \cdot \frac{b}{h} \right] \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}}$

Обозначения, принятые в табл. 1:

$b$  и  $t$  - соответственно ширина и толщина сжатого пояса;

$h$  - расстояние (высота) между осями поясных листов.

Примечания: 1. Для балок с поясными соединениями на высокопрочных болтах значения  $l_{ef}/b$ , получаемые по формулам табл. 1 следует умножать на коэффициент 1,2.

2. Для балок с отношением  $b/t < 15$  в формулах табл. 1 следует принимать  $b/t = 15$ .

Устойчивость балок не требуется проверять:

а) при передаче нагрузки через сплошной жесткий настил, непрерывно опирающийся на сжатый пояс балки и надежно с ним связанный (плиты железобетонные из тяжелого, легкого и ячеистого бетона, плоский и профилированный металлический настил, волнистую сталь и т. п.);

б) при отношении расчетной длины балки  $l_{ef}$  к ширине сжатого пояса  $b$  не превышающем значений, определяемых по формулам табл. 1 (соответствует таблице 8\* [1]) для балок симметричного двутаврового сечения и с более развитым сжатым поясом, для которых ширина растянутого пояса составляет не менее 0,75 ширины сжатого пояса.

При определении значения  $\varphi_0$  за расчетную длину балки  $l_{ef}$  следует принимать расстояние между точками закреплений сжатого пояса от поперечных смещений (узлами продольных или поперечных связей, точками крепления жесткого настила); при отсутствии связей  $l_{ef} = l$  (где  $l$  - пролет балки) за расчетную длину консоли следует принимать:  $l_{ef} = l$  при отсутствии закрепления сжатого пояса на конце консоли в горизонтальной плоскости (здесь  $l$  - длина консоли); расстояние между точками закреплений сжатого пояса в горизонтальной плоскости при закреплении пояса на конце и по длине консоли.

**Коэффициенты  $\varphi_0$  для расчета балок на устойчивость (прил. 7\* [1]).**

Для балок двутаврового сечения с двумя осями симметрии для определения коэффициента  $\varphi_0$  необходимо вычислить коэффициент перехода от нормативных сопротивлений к критическим напряжениям потери общей устойчивости изгибаемыми элементами  $\varphi_1$  по формуле:

$$\varphi_1 = \psi \cdot \frac{J_y}{J_x} \cdot \left( \frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \cdot \frac{E}{R_y}, \quad (2)$$

где значения  $\psi$  следует принимать по табл. 2 (соответствует табл. 77 [1]) в зависимости от характера нагрузки и параметра  $\alpha$ , который должен вычисляться по формулам:

а) для прокатных двутавров

$$\alpha = 1,54 \cdot \left( \frac{l_{ef}}{h} \right)^2 \cdot \frac{J_t}{J_y}, \quad (3.1)$$

где  $l_{ef}$  - расчетная длина балки или консоли (способ определения см. выше);

$h$  - полная высота сечения;

$J_x$  - момент инерции сечения при кручении;

Коэффициенты  $\psi$  для двутавровых балок с двумя осями симметрии.

Таблица 2

Количество закреплен- ный сжатого пояса в пролете	Вид нагрузки в пролете	Нагружен- ный пояс	Формулы для $\psi$ при значениях $\alpha$	
			$0,01 \leq \alpha \leq 40$	$40 < \alpha \leq 400$
Без закреплений	Сосредоточенная	Верхний	$\psi = 1,75 + 0,09 \cdot \alpha$	$\psi = 3,3 + 0,053 \cdot \alpha - 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2$
		Нижний	$\psi = 5,05 + 0,09 \cdot \alpha$	$\psi = 6,6 + 0,053 \cdot \alpha - 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2$
	Равномерно рас- пределенная	Верхний	$\psi = 1,6 + 0,08 \cdot \alpha$	$\psi = 3,15 + 0,04 \cdot \alpha - 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2$
		Нижний	$\psi = 3,8 + 0,08 \cdot \alpha$	$\psi = 5,35 + 0,04 \cdot \alpha - 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2$
Два и более, делящих пролет на равные части	Любая	Любой	$\psi = 2,25 + 0,07 \cdot \alpha$	$\psi = 3,6 + 0,04 \cdot \alpha - 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2$
Одно в середине	Сосредоточенная в середине	Любой	$\psi = 1,75 \cdot \psi_1$	$\psi = 1,75 \cdot \psi_1$
	Сосредоточенная в четверти	Верхний	$\psi = 1,14 \cdot \psi_1$	$\psi = 1,14 \cdot \psi_1$
		Нижний	$\psi = 1,6 \cdot \psi_1$	$\psi = 1,6 \cdot \psi_1$
	Равномерно рас- пределенная	Верхний	$\psi = 1,14 \cdot \psi_1$	$\psi = 1,14 \cdot \psi_1$
Нижний		$\psi = 1,3 \cdot \psi_1$	$\psi = 1,3 \cdot \psi_1$	

Примечание. Значение  $\psi_1$  следует принимать равным  $\psi$  при двух и более закреплениях сжатого пояса в пролёте.

б) для сварных двутавров, составленных из трех листов:

$$\alpha = 8 \cdot \left( \frac{l_{\sigma} \cdot t_1}{h \cdot b_f} \right)^2 \cdot \left( 1 + \frac{a \cdot t^3}{b_f \cdot t_1^3} \right), \quad (3.2)$$

где  $t$  - толщина стенки;

$b_f$  и  $t_f$  - ширина и толщина пояса балки;

$h$  - расстояние между осями поясов;

$a = h/2$ .

Значения коэффициента  $\varphi_a$  в формуле (1):

при  $\varphi_1 \leq 0,85$  (работа в упругой стадии)  $\varphi_a = \varphi_1$ ,

при  $\varphi_1 > 0,85$   $\varphi_a = 0,68 + 0,21 \cdot \varphi_1$ , но не более 1,0.

Это вызвано тем, что при  $\varphi_1 > 0,85$  критические напряжения переходят в упругопластическую фазу, что приводит к уменьшению модуля деформации.

При учете упругопластической работы балки ее общая устойчивость ухудшается и расстояние между узлами связей, закрепляющими сжатый пояс от горизонтальных смещений, уменьшается умножением на коэффициент  $\delta \leq 1$  (п. 5.20 [1]).

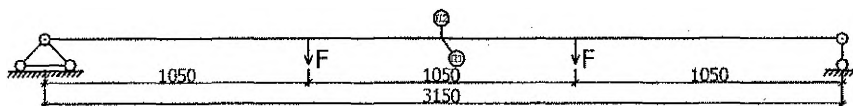


Рис. 2. Расчётная схема двутавровой сварной балки, нагруженной по нижнему поясу.

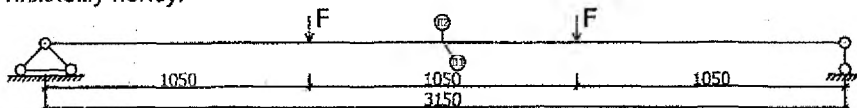


Рис. 3. Расчётная схема двутавровой сварной балки, нагруженной по верхнему поясу.

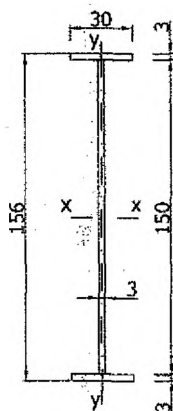


Рис. 4. Поперечное сечение балки.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Теоретически определить значения сил  $F_{кр}$  (Н), при котором двутавровая сварная балка, выполненная из стали С235 (ГОСТ 27772-88), должна потерять устойчивость (расчётные схемы балок представлены на рис. 2, 3, а их поперечное сечение на рис. 4). Для этого необходимо:

а) по формуле (3.2) определить параметр  $\alpha$ ;

б) определить значения  $\psi$  по табл. 2;

в) вычислить коэффициенты  $\varphi_1$  по формуле (2), предварительно найдя моменты инерции относительно осей симметрии сечения двутавра;

г) по формуле (1), приравняв левую и правую части, определить значения  $M_{кр}$ ;

д) в соответствии с принятыми расчётными схемами (рис. 2, 3) найти значения сил  $F_{кр}$ .

2. Экспериментально определить значения сил  $F_{кр}$  (Н), ступенчато (шаг 100...200 Н) нагружая экспериментальную балку. Критерием потери устойчивости следует считать выход сечения балки из плоскости изгиба в её центральной части (определяется с помощью показаний прогибомера П1). Для этого необходимо:

Результаты нагружения экспериментальной двутавровой сварной балки.

Таблица 3

№№ ступ. нагружения	Величина силы F, Н	Вертикальные перемещения f, мм×10 <sup>-2</sup>	Горизонтальные перемещения δ, мм×10 <sup>-2</sup>
1	...	...	...

а) ступенчато с шагом 100...200 Н прикладывая нагрузку, заносить показания прогибомеров П1 и П2 в соответствующие столбцы табл. 3;

б) при условии, что две последовательные ступени нагружения дают значительный и увеличивающийся рост боковых отклонений  $\delta$  сечения балки в середине пролёта (более 0,1 мм для первой ступени и более 0,2 мм для второй из выделенного массива ступеней), то значение F для первой ступени считать экспериментальным значением силы  $F_{кр}$ .

3. Сравнить экспериментальные и теоретические значения сил  $F_{кр}$  и сделать вывод о их соотношении.

#### 4. Требования к отчёту

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Краткое изложение теоретической части.

2. Расчёт согласно [1] значений сил  $F_{кр}$  (Н), при котором экспериментальная двутавровая сварная балка должна потерять устойчивость (необходимо представить расчётную схему балку и её поперечное сечение).

3. Экспериментальное определение значений сил  $F_{кр}$  (Н) при помощи показаний прогибомера П1 (заполненная таблица 3 для каждой расчётной схемы).

4. Графики изменения прогибов и боковых отклонений сечения балки в середине пролёта в координатах  $F(H) - f(\text{мм})$  и  $F(H) - \delta(\text{мм})$ .

5. Выводы о закономерностях деформирования экспериментальной сварной двутавровой балки при потере ею общей устойчивости и численном соответствии экспериментальных и теоретических значений сил  $F_{кр}$ .

## Список использованной литературы

1. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции. / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
2. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
3. Металлические конструкции. Элементы стальных конструкций/ Под ред. В.В.Горева. – М.: «Высшая школа», 1997.
4. Расчёт стальных конструкций: Справ. пособие / Я.М. Лихтарников, Д.В. Ладыженский, В.М. Клыков. – 2-е изд, перераб. и доп. – К.: Будівельник, 1984. – 368 с.
5. Лабораторные работы по сварке. Под редакцией профессора Г.А. Николаева. – М.: Изд. «Высшая школа», 1971.
6. Справочник по специальным работам. Сварочные работы в строительстве. Изд. литературы по строительству – Москва, 1971.
7. Контроль качества сварных соединений в строительстве. И.Е. Нейфельд и др. Изд. литературы по строительству – Москва, 1968.
8. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции») / ЦНИИСК Госстроя СССР, 1989. – 148 с.

Учебное издание

Составители: Драган Вячеслав Игнатьевич  
Мухин Анатолий Викторович  
Черноиван Николай Вячеславович

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам по дисциплине

### **«Металлические конструкции»**

для студентов специальности

**1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»**

дневной формы обучения

Ответственный за выпуск: Черноиван Н.В.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 25.01.2006 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. л. **2,3**.  
Уч. изд. л. **2,5**. Заказ № **109**. Тираж **100** экз. Отпечатано на ризографе  
учреждения образования «Брестский государственный технический уни-  
верситет». 224017. Брест. ул. Московская. 267.