

## ЛЕКЦИЯ

### Тема: Расчет и проектирование сварных балок

#### Задание для студентов

- 1 Повторить из курса теоретической механики (раздел Сопротивление материалов) понятие момента сопротивления сечения изгибу и его единицы измерения, а также правила построения эпюры нормальных напряжений
- 2 Ознакомиться с теоретическим материалом
- 3 Ознакомиться с видеоматериалом по ссылке:

Как посчитать балку на изгиб	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=WxXW-C0YYeQ&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=WxXW-C0YYeQ&amp;feature=emb_logo</a>
Подбор сечения балки	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=lfU7B8LC2xI&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=lfU7B8LC2xI&amp;feature=emb_logo</a>
Подбор поперечного сечения балки	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=g_Je8e7et8&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=g_Je8e7et8&amp;feature=emb_logo</a>
Расчет сварных угловых швов нахлесточного соединения	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=8W1iZIW P4I8&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=8W1iZIW P4I8&amp;feature=emb_logo</a>
Расчет сварного шва в Inventor	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=suvXSYTI R9M&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=suvXSYTI R9M&amp;feature=emb_logo</a>
Что такое ребро жесткости. Принцип их работы	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=zsQ0QIZg Bzw&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=zsQ0QIZg Bzw&amp;feature=emb_logo</a>
Ребра жесткости	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Pi24EUcC Zps&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=Pi24EUcC Zps&amp;feature=emb_logo</a>

- 4 Составить конспект лекции (объем 5-6 страниц)
- 5 Изобразить схему участка вертикального листа при подкреплении горизонтальным ребром (рисунок 5)
- 6 Ответить на контрольные вопросы в **письменном** виде
- 7 Представить **конспект лекции и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку в течение трех дней со дня выдачи задания.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна*.

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46

Работы отправлять на электронную почту [ira.gnatyuk.60@inbox.ru](mailto:ira.gnatyuk.60@inbox.ru)

#### *Теоретические сведения*

#### **Расчет прочности и устойчивости сварных балок**

При проектировании сварных балок необходимо обеспечить не только их надлежащую работоспособность, но и наибольшую экономичность. Повышение экономичности достигается более полным использованием материала (обеспечивающим возможность получения наименьшего веса конструкции) и более высокой технологичностью конструкции (которая обеспечивается выбором форм, допускающих применение

высокопроизводительных методов сварки).

Высокая работоспособность сварных балок обеспечивается выполнением требований, установленных условиями прочности, жесткости, устойчивости и выносливости.

Надежная работа сварных балок должна быть, кроме того, обеспечена высоким качеством их изготовления.

### Расчетная схема главных балок

Главная балка обычно нагружается в местах сопряжения с вспомогательными балками, которые передают на нее нагрузку в виде своих опорных реакций. В балочных клетках главная балка по концам является свободно опертой на колонны или на стены. Таким образом, расчетная схема главной балки представляет собой балку на двух опорах, нагруженную рядом сосредоточенных сил, как это указано на рисунке 1.

При подборе сечения балки можно применять несколько упрощенные расчетные формулы, имея в виду, что предварительно принятые размеры отдельных элементов будут затем проверены при окончательном расчете прочности всей конструкции. С этой целью может быть использована методика расчета по допускаемым напряжениям с условным определением значения допускаемого напряжения  $[\sigma]$  в зависимости от расчетного сопротивления  $R$  и некоторого осредненного значения коэффициента перегрузки  $\rho_0$ .

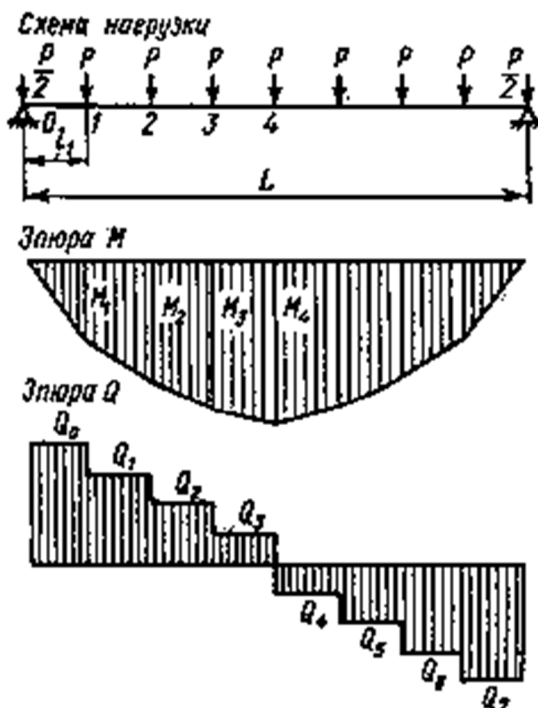


Рисунок 1 – Расчетная схема главной балки

### Выбор высоты балки

Определение размеров сечения балки следует начинать с выбора ее высоты.

Высота балки является одним из самых главных размеров ее поперечного сечения. Это следует из того, что такие основные характеристики поперечного сечения при изгибе, как момент сопротивления

и момент инерции, выражаются зависимостями, в которые высота входит во второй и даже в третьей степени.

От выбора высоты вертикального листа балки зависит ее жесткость и вес. Поэтому высота вертикального листа и выбирается исходя из условий обеспечения требуемой жесткости и условий получения меньшего веса. При этом следует иметь в виду, что из этих двух условий первое является обязательным, так как определяется требованиями технических условий, а второе только желательным, поэтому в случае расхождения решений, вытекающих из этих условий, второе решение должно быть подчинено первому.

Условие обеспечения необходимой жесткости балок вытекает из заданных технических условиями ограничений по прогибу.

Определение прогиба балки, нагруженной рядом сосредоточенных сил, с достаточным приближением можно производить по формуле, относящейся к случаю нагружения равномерно распределенной нагрузкой

$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EJ}$$

Выражая момент инерции через момент сопротивления и заменяя последний его зависимостью от изгибающего момента, после подстановки

$$J = W \frac{h}{2} = \frac{M}{R} \frac{h}{2} = \frac{qL^3}{8R} \frac{h}{2},$$

получим

$$h \approx \frac{5}{24} \frac{R}{E} \frac{L}{f} L.$$

Здесь  $h$  - высота балки;

$R$  — расчетное сопротивление;

$E$  — модуль упругости материала;

$f$  — прогиб в середине пролета;

$L$  — пролет балки.

Таким образом, высота балки определяется в зависимости от длины пролета.

Полученное значение должно быть согласовано со вторым условием, по которому обеспечивается получение минимального веса.

Вес балки зависит от высоты сечения. Для балок постоянного сечения, составленного из вертикальной стенки и двух поясов, объем металла может быть сражен следующим образом:

$$V = L (sh + 2F_n).$$

Здесь  $L$  — длина балки;

$h$  — высота ее вертикальной стенки;

$s$  — толщина вертикальной стенки;

$F_n$  — площадь поперечного сечения пояса.

Для балки переменного сечения оптимальное значение высоты вертикального листа будет несколько меньшим и составит

$$h = 1,3 \sqrt{\frac{M}{s[\sigma]}},$$

или

$$h = 1,3 \sqrt{\frac{M_{\text{п}}}{sR}}.$$

В формуле  $M_a$  — значение изгибающего момента, определенного с учетом коэффициентов перегрузки; — расчетное сопротивление.

При согласовании значений высоты балки, полученных по формулам, следует иметь в виду, что зависимость на участке значений, близких к оптимальному, изменяется очень мало, поэтому даже довольно значительные отклонения в высоте вертикальной стенки не приводят к существенному изменению объема металла. Об этом можно судить по данным рис.2, на котором приведены весовые характеристики для балки равного сопротивления пролетом  $L = 20$  м.

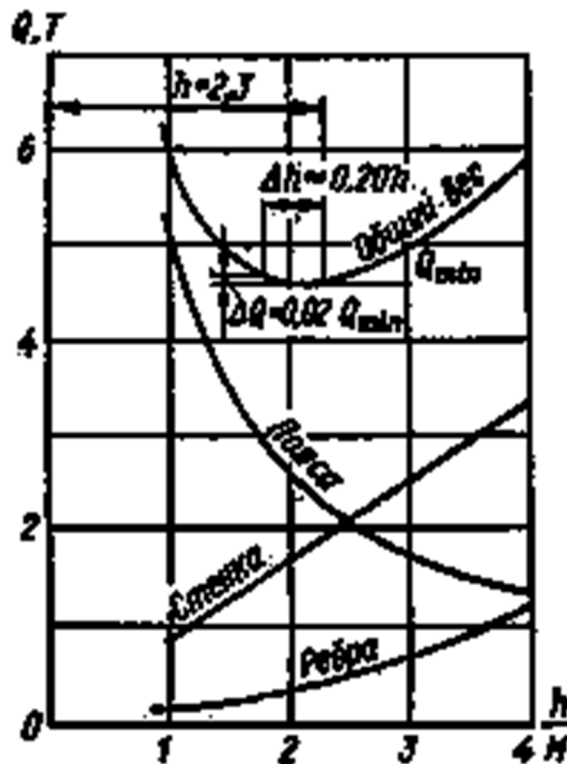


Рисунок 2 – Зависимость веса балки от ее высоты

Таким образом, при определении оптимальной высоты вертикальной стенки можно допускать отклонения от полученных по ней значений в пределах  $\pm 20\%$ , так как это не вызывает повышения веса более чем на 2%, т. е. будет вполне соответствовать степени точности, обычной для подобных расчетов.

### Подбор сечения балки

Для подбора размеров удобнее подобно предыдущим расчетам на устойчивость стенки представить эту зависимость в следующем виде:

$$s_{\text{н}} \approx \frac{\sqrt{R}}{900} b = \frac{\sqrt{R}}{1800} B = \frac{B}{\theta_4}$$

Здесь

$\theta_1 = \frac{1800}{\sqrt{R}}$  — коэффициент устойчивости сжатой пластинки, опертой по трем сторонам.

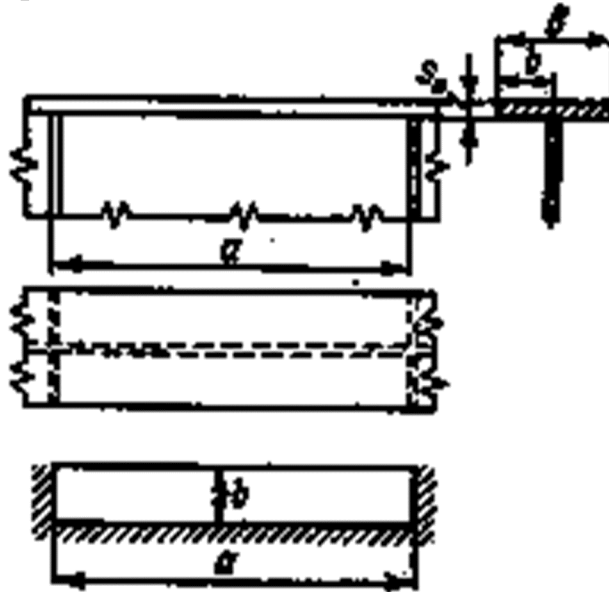


Рисунок 3 – Схема участка пояса для проверки его устойчивости

Критические напряжения для сжатого стержня выражаются формулой

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

Здесь  $\lambda = \frac{l}{r}$  — гибкость стержня;

$l$  — длина стержня;

$r$  — радиус инерции его поперечного сечения.

Принимая для пояса радиус инерции равным  $r_y = 0,289 B$  может быть получено следующее выражение для определения ширины пояса:

$$B \geq \frac{\sqrt{R}}{1330} l \geq \frac{l}{\theta_1}$$

Здесь

$$\theta_1 = \frac{1330}{\sqrt{R}}$$

— коэффициент устойчивости сжатого пояса;

$B$  — ширина пояса;

$l$  — расстояние между связями.

### Выбор толщины вертикальной стенки

Следующим шагом при подборе размеров сечений балки после определения высоты вертикального листа, является выбор его толщины. Условия работы вертикального листа по длине балки различны.

В середине пролета, в месте действия максимального изгибающего

момента и минимальной перерезывающей силы, вертикальная стенка нагружается нормальными напряжениями. К опорам изгибающие моменты уменьшаются, а перерезывающие силы возрастают, и в сечениях, расположенных на опорах, изгибающие моменты равны нулю, тогда как перерезывающие силы становятся максимальными. В этих сечениях вертикальная стенка нагружается только касательными напряжениями.

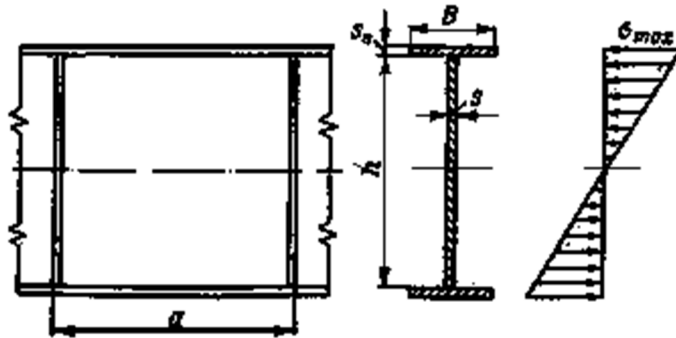


Рисунок 4 – Участок вертикального листа, проверяемый на устойчивость

В соответствии с этим могут меняться и размеры вертикального листа:

Для средней части балки толщина вертикального листа должна определяться величиной нормальных напряжений. Но при изгибе нормальные напряжения достигают максимального значения только в крайних волокнах (в поясах). Поэтому условия прочности по нормальным напряжениям не могут являться определяющими при выборе толщины вертикального листа. При наличии поясов нормальные напряжения в стенке всегда будут получаться меньше допустимых при любом значении ее толщины (рисунок 4).

Толщину вертикального листа в средней части балки по условиям уменьшения ее веса целесообразно принимать минимальной. При этом необходимо считаться с условиями обеспечения ее местной устойчивости в зоне действия сжимающих напряжений.

При расчете на устойчивость критические напряжения играют ту же роль, какую играет предел текучести при расчете на прочность. Они должны рассматриваться в качестве предельных напряжений, по отношению к которым следует обеспечивать те же коэффициенты запаса, которые принимаются при расчете на прочность.

Значения критических напряжений для различных участков сварных составных балок определяются по формулам, установленным для прямоугольных пластинок, которые имеют следующий вид

$$\sigma_{кр} = kE \left( \frac{s}{b} \right)^2.$$

Здесь  $k$  — коэффициент, зависящий от условий нагружения пластинки, от условий ее опирания по контуру и от размеров контура;

$E$  — модуль упругости материала пластинки;

$s$  и  $b$  — толщина и ширина пластинки.

Для участка вертикальной стенки, расположенного в средней части балки, значение критических напряжений как для прямоугольной бесконечно длинной пластинки, опертой по контуру, с учетом некоторого защемления по верхней и нижней кромкам, примыкающим к поясам, нагруженной

нормальными напряжениями от изгибающего момента, определяется по следующей формуле:

$$\sigma_{кр} = 31,8E \left( \frac{s}{h} \right)^2.$$

Здесь  $\sigma_{кр}$  — значение напряжений, при которых возможна потеря устойчивости;

$s$  — толщина вертикального листа;

$h$  — высота вертикального листа;

$E$  — модуль упругости материала, который для стали может быть принят равным  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ .

Это выражение может быть использовано для предварительного выбора толщины вертикальной стенки балки в зависимости от ее высоты.

Полагая

$$\sigma_{кр} = R = 31,8E \left( \frac{s}{h} \right)^2,$$

после преобразований будем иметь  $s \geq \frac{h \sqrt{R}}{8160} \geq \frac{h}{\theta_1}$ .

Здесь  $\theta_1 = \frac{8160}{\sqrt{R}}$  — коэффициент устойчивости стенки при изгибе;

$R$  — расчетное сопротивление стали.

Стремление к уменьшению толщины вертикального листа приводит иногда к применению дополнительных горизонтальных ребер жесткости, которые, уменьшая размеры сжатых участков пластинки, являются средством повышения устойчивости стенки (рисунок 2).

В этом случае для крайнего участка вертикального листа, заключенного между поясом балки и горизонтальным ребром, условие устойчивости будет выражаться следующей зависимостью:

$$\sigma_{кр} = 3,63E \left( \frac{s}{b_2} \right)^2.$$

Здесь  $b_2$  — расстояние между сжатым поясом и горизонтальным ребром.

Или аналогично предыдущему:

$$s \geq \frac{\sqrt{R}}{2760} b_2 \geq \frac{b_2}{\theta_2}.$$

Здесь  $\theta_2 = \frac{2760}{\sqrt{R}}$  коэффициент устойчивости верхнего участка стенки при равномерном сжатии.

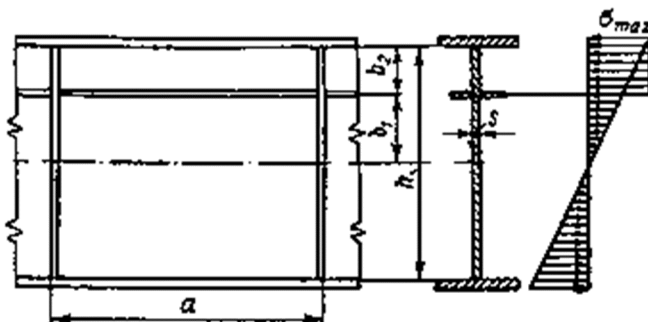


Рисунок 5 — Схема участка вертикального листа при подкреплении горизонтальным ребром

Наиболее рациональным является расположение горизонтального ребра жесткости по линии приложения равнодействующего предельного сжимающего усилия, которое создается нормальными сжимающими

напряжениями, действующими в верхней части балки. В соответствии с треугольной формой эпюры нормальных сжимающих напряжений центр тяжести ее расположен от верхней кромки вертикальной стенки на расстоянии равном  $h/6$ .

Если располагать горизонтальное ребро жесткости на этом расстоянии, то ширина наиболее нагруженной верхней части вертикальной стенки будет равна

$$b_2 = \frac{h}{6}.$$

Подставляя это значение в формулу, можно получить следующую зависимость между толщиной стенки и ее высотой для случая применения одного горизонтального ребра жесткости:

$$s \geq \frac{h}{6\theta_2} \geq \frac{h}{\theta_3}.$$

Здесь  $\theta_3 = 6 \theta_2$  — коэффициент устойчивости вертикальной стенки, подкрепленной одним горизонтальным ребром жесткости.

Для удобства расчета значения коэффициентов, по которым может быть определена толщина вертикального листа при заданной его высоте, приведены в таблице 1.

При выборе толщины вертикального листа следует иметь в виду, что по производственным и эксплуатационным условиям листы толщиной менее чем 6 мм для основных элементов конструкций не применяются.

Таблица 1 - Коэффициенты для подбора размера вертикального листа и поясов по условиям устойчивости при действии нормальных напряжений

$R$ в кгс/см <sup>2</sup> (10МПа)	Для вертикального листа			Для пояса	
	$\theta_2 = \frac{h}{s}$	$\theta_3 = \frac{b_2}{s}$	$\theta_4 = \frac{h}{s}$	$\theta_5 = \frac{B}{s_R}$	$\theta_6 = \frac{l}{B}$
3400	140	47,3	284	31	23
2900	152	51,4	308	33	25
2800	154	52,1	313	34	25
2300	170	57,5	345	37	28
2100	178	60,2	361	39	29
2000	183	61,7	370	40	30

### Размеры вертикального листа на опоре

В сечении на опоре размеры вертикальной стенки будут определяться условиями прочности и устойчивости при действии касательных напряжений, создаваемых перерезывающей силой.

Касательные напряжения определяются по формуле

$$\tau = \frac{QS'}{Jb}.$$

Здесь  $Q$  — перерезывающая сила;

$J$  — момент инерции сечения;

$S'$  — статический момент части сечения (расположенной выше того волокна, в котором определяется напряжение) относительно нейтральной оси;

$b$  — ширина сечения в данном месте.



Распределение касательных напряжений в поперечном сечении балки показано на рисунке 6, из которого видно, что основное значение при работе на перерезывающую силу имеет стенка, а пояса почти не принимают участия в работе. Если, учитывая это, влиянием поясов пренебречь и считать касательные напряжения распределенными равномерно по площади сечения стенки, что достаточно хорошо соответствует действительным условиям распределения напряжения, то формула для определения касательных напряжений упростится, и будет иметь вид

$$\tau = \frac{Q}{hs}.$$

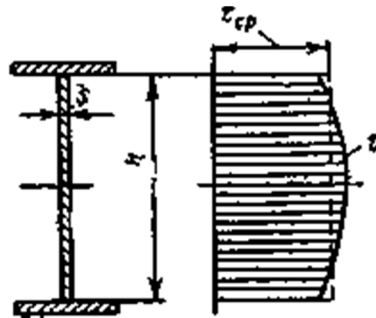


Рисунок 6 – Эпюра касательных напряжений

Условия устойчивости вертикального листа в районе опоры определяются как для прямоугольной пластинки, нагруженной по контуру касательными напряжениями, и выражаются формулой

$$\tau_{кр} = kE \left( \frac{s}{h} \right)^2.$$

Здесь  $k$  — коэффициент, зависящий от отношения сторон опорного контура, значения которого приведены в таблице 2;  $b$  и  $H$  — размеры вертикальной стенки.

Таблица 2 - Значения коэффициента  $k$

$a/h$	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	$\infty$
$k$	8,5	7,2	6,6	6,4	6,3	6,15	5,95	5,7	5,5	4,5

Условия прочности и устойчивости можно объединить и тогда они будут выражаться формулой:

$$\frac{Q}{hs} = kE \frac{s^2}{h^2},$$

откуда

$$s \geq \sqrt[3]{\frac{Qh}{kE}} \geq c \sqrt[3]{Qh}.$$

Здесь  $c$  — коэффициент, зависящий от отношения сторон опорного контура, значения которого приведены в таблице 3

Таблица 3 - Значения коэффициента  $c$

$a/h$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$c \cdot 10^5$	163	291	317	340	367	370	390	402	407	414	416

Приведенные формулы показывают, что прочность вертикального листа на опоре определяется абсолютным значением площади его поперечного сечения, тогда как устойчивость зависит главным образом от соотношения между его размерами. Устойчивость вертикального листа на опоре может быть повышена более частым расположением вертикальных ребер жесткости, но более эффективной мерой подкрепления является установка наклонного ребра жесткости (рис. 4), которое должно быть расположено по направлению действия равнодействующей сжимающих напряжений. Принимая на себя результирующее действие напряжений, ребро будет предотвращать возможность появления деформаций из плоскости вертикального листа.

### Определение размеров поясов

Пояса двутавровых балок расположены в участках сечения, наиболее нагруженных нормальными напряжениями, и поэтому от прочности поясов в основном зависит прочность изгибаемой балки.

Для сечения в середине пролета, в месте действия максимального изгибающего момента и минимальной перерезывающей силы, условие прочности имеет вид

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq R.$$

Момент сопротивления может быть выражен через размеры сечения следующим образом:

$$W = J \frac{2}{h_1} = \left( \frac{sh^3}{12} + 2F_{\Pi} \frac{h_0^2}{4} \right) \frac{2}{h_1}.$$

Здесь  $W$  — момент сопротивления сечения;

$J$  — момент инерции сечения;  $h$  — высота вертикального листа;

$h_1$  — высота всего сечения;

$h_0$  — расстояние между центрами тяжести поясов;

$F_{\Pi}$  — площадь сечения пояса.

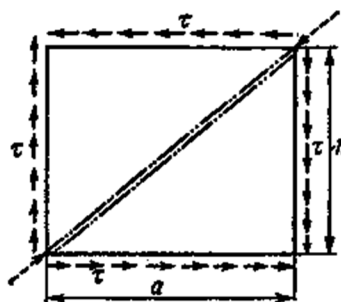


Рисунок 7 – Схема действия касательных напряжений на опорный участок вертикального листа

Для составных балок, у которых, как правило, толщина поясов несоизмеримо мала по сравнению с высотой, можно принять  $h_0 = h = h_1$

После соответствующей подстановки и преобразований, может быть получено следующее выражение для определения площади сечения пояса двутавровой балки:

$$F_{\Pi} = \frac{M_{\max}}{hR} - \frac{sh}{6}$$

Исходя из полученного значения, размеры площади поперечного

сечения пояса должны быть определены с учетом условий устойчивости.

Критические напряжения для прямоугольной пластинки, свободно опертой по трем сторонам, выражаются формулой

$$\sigma_{кр} = 0,385E \left( \frac{s_n}{b} \right)^2$$

Здесь  $S_n$  — толщина пояса;

$b$  — полуширина пояса,

Пояса балки соединяются с вертикальной стенкой сварными швами, которые должны обеспечить условия совместной работы всех частей составного сечения. При этом поясные швы воспринимают касательные напряжения.

Соответствующая площадь сечения двух поясных швов с катетом воспринимающих эту силу, будет

$$F_{ш} = 1,4k. \quad T_1 = \tau s = \frac{QS'}{J}.$$

Где  $S'$  — толщина сварного шва

Касательные напряжения в сварных швах будут

$$\tau = \frac{QS'}{1,4kJ}.$$

По условию прочности на срез катет шва будет определяться по формуле

$$k = \frac{QS'}{1,4JR_{св}^{ср}}$$

Здесь  $R_{св}^{ср}$  — расчетное сопротивление на срез для металла сварного шва.

Учитывая возможность более глубокого проплавления шва при автоматической и полуавтоматической сварке, по нормам разрешается для случаев однопроходного выполнения поясных швов расчетную толщину их сечения считать равной: при автоматической сварке  $0,9k$ , при полуавтоматической сварке  $0,8k$ .

В районе действия опорных реакций, а также других сосредоточенных вертикальных сил прочность сварных поясных швов должна быть проверена с учетом дополнительных напряжений в швах от действия этих сил.

Действие сосредоточенной вертикальной силы распространяется на ограниченный участок сварного шва. Приблизительно считают, что длина этого участка равна  $l_{ш} = 30s$ , где  $s$  — толщина вертикального листа.

Дополнительные напряжения в швах в районе действия опорной реакции  $R_a$  будут

$$\tau_1 = \frac{R_a}{1,4k(l_{ш} + 2b)}.$$

Здесь  $2b$  — длина швов по опорным ребрам жесткости;  $k$  — катет шва.

Результирующие срезающие напряжения в сварном шве определяются геометрическим суммированием выражений и равны

$$\bar{\tau} = \sqrt{\tau^2 + \tau_1^2}.$$

В тех случаях, когда дополнительные срезающие напряжения велики и вызываемое ими увеличение катета шва нежелательно, целесообразно на участке действия опорной реакции применить шов с разделкой кромок. В

этом случае отсутствие зазора между поясом и вертикальным листом исключает возможность появления в швах дополнительных срезающих напряжений и приводит только к появлению напряжений сжатия, которые в большинстве случаев не опасны.

Прочность стыковых швов в поясах и стенке обеспечивается соответствующим выбором сварочных материалов, гарантирующим равнопрочность металла сварных швов основному металлу. Поэтому никаких расчетов для проверки прочности стыковых швов производить не требуется (что справедливо только при статической нагрузке).

### **Расчет ребер жесткости балки**

Ребра жесткости необходимы для обеспечения устойчивости и жесткости балки не только при ее нормальной работе, но и при монтаже.

Вертикальные ребра жесткости необходимо ставить в местах передачи сосредоточенных усилий.

Вследствие того, что условия работы ребер жесткости не всегда строго определены, подробный расчет их не производят, а размеры их устанавливаются по эмпирическим формулам, которые в основном выражают условия их устойчивости. Ребра жесткости выполняются из полосового проката. Устанавливаются они симметрично по отношению к вертикальной стенке с двух сторон. Для присоединения ребер жесткости к вертикальной стенке, как правило, применяются швы минимальных катетов.

Ширина ребра выбирается в зависимости от его высоты по формуле

$$b \geq \frac{h}{30} + 40.$$

Здесь  $b$  — ширина одного ребра в мм;

$h$  — высота ребра в мм.

В районе крепления ребра к поясу ширина ребра должна обеспечивать опирание пояса не менее, чем на три четверти его ширины

$$2b \geq 0,75B.$$

При широких поясах последнее условие приводит к применению составных ребер с местными уширениями.

Толщина ребра выбирается в зависимости от его ширины по формуле

$$s \geq \frac{b}{15}.$$

Опорное ребро жесткости может быть проверено на устойчивость как стойка — на действие опорной реакции балки.

### ***Проверочные расчеты прочности***

Ввиду того что при подборе размеров различных сечений балки принимались некоторые упрощения и округления, в заключение необходимо произвести проверочный расчет для того, чтобы окончательно подтвердить правильность принятых решений.

Учитывая, что на отдельных участках балки одновременно действуют значительные нормальные и касательные напряжения, необходимо для этих

участков произвести проверку прочности по значению приведенных напряжений

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\frac{3}{4}\sigma^2 + 3\tau^2\left(1 - \frac{\sigma^2}{2\tau^2}\right)}.$$

Здесь  $\sigma$  — наибольшее нормальное напряжение в стенке;  
 $\tau$  — среднее касательное напряжение в том же сечении.

По эпюре напряжений, приведенной на рисунке 1, видно, что максимальные нормальные напряжения имеют место в середине пролета и в местах изменения сечений балки, тогда как касательные напряжения достигают наибольших значений в концевых частях балки. Из этого можно заключить, что по условию распределения главных напряжений наиболее опасным участком балки является сечение, расположенное в месте ближайшего к опоре стыка поясов. Поэтому проверку главных напряжений и следует провести для крайнего волокна вертикального листа этого стыка.

Одновременное действие нормальных и касательных напряжений может оказаться более опасным и для устойчивости отдельных участков вертикального листа балки.

В этом случае необходимо проверить коэффициент запаса на устойчивость, при этом должно быть обеспечено следующее условие:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{кр}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{кр}}\right)^2} \leq 1.$$

Здесь  $\sigma$  и  $\tau$  — нормальное и касательное напряжения в рассматриваемом участке вертикальной, стенки;

$\sigma_{кр}$  и  $\tau_{кр}$  — критические значения напряжений в тех же участках, вычисленные по формулам

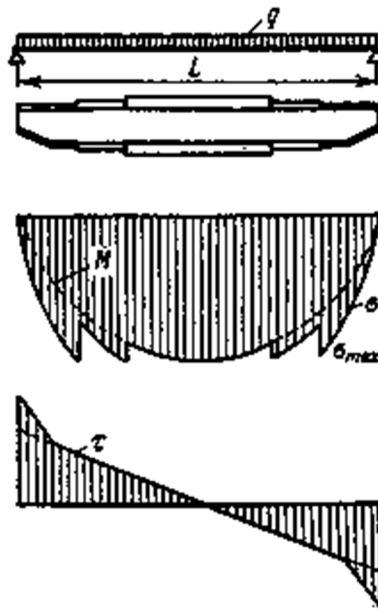


Рисунок 8 – К определению главных напряжений

### ***Контрольные вопросы:***

1. От каких факторов зависит высота изгибаемой балки и можно ли ее назначать произвольно?
2. Как произойдет подбор сечений балки, если задана ее высота?
3. Как зависит расчетная высота балки от длины пролета и расчетного сопротивления материала балки?
4. Какие виды напряжений следует проверить в подобранном сечении балки?
5. Какие отклонения расчетных размеров вертикальной стенки сварной балки являются приемлемыми и почему?
6. Как изменяются коэффициенты для подбора размера вертикального листа и поясов при увеличении расчетного сопротивления основного металла (см. табл.1)?
7. Можно ли толщину вертикального листа в средней части балки принимать минимальной? Почему?
8. По каким формулам производят проверку местной устойчивости?
9. От чего зависит величина катета поясного шва сварной балки?
10. По какому условию определяется величина катета?
11. Какие напряжения воспринимают поясные швы?
12. Как будет изменяться расчетная величина сварного шва балки при увеличении прочности основного металла?
13. Почему расчетную толщину сварного шва при полуавтоматической и автоматической сварке допускается принимать конструктивно (без расчетов)?
14. Какие мероприятия принимаются для повышения местной устойчивости?
15. Каково рациональное оформление швов, приваривающих ребра жесткости?
16. От чего зависит ширина ребра жесткости?
17. От чего зависит толщина ребра жесткости?
18. В каком сечении балки возникают максимальные нормальные напряжения?
19. В каком сечении балки возникают максимальные касательные напряжения?