МДК02.01 Основы расчета и проектирования сварных конструкций

Тема: Подбор сечения 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 ссылкам:

Подбор сечения балки	https://www.youtube.com/watch?v=lfU7B8LC2xI&feature=emb_logo
Подбор поперечного сечения балки	https://www.youtube.com/watch?v=g__Je8e7et8&feature=emb_logo

4. Составить конспект лекции.
5. Изобразить схему участка вертикального листа при подкреплении горизонтальным ребром (рисунок 2)
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

ЛЕКЦИЯ

Тема: Подбор сечения сварных балок. Расчет сварных швов сварных балок
Цели: 1) Ознакомить студентов с методикой подбора сечения сварных балок
2)Ознакомить студентов с порядком проверки сварных швов балок
3) Подготовиться к выполнению практической работы №18

План

1. Выбор толщины вертикальной стенки
2. Размеры вертикального листа на опоре
3. Определение размеров поясов

Теоретические сведения

Формулы служат для определения максимальной, высоты балки, относящейся к сечению посередине пролета. По мере приближения к опорам, высота сечения может уменьшаться, достигая на опорах минимального значения. Условия для определения высоты вертикального листа на опоре

будут рассмотрены ниже с учетом принимаемого значения его толщины.

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.

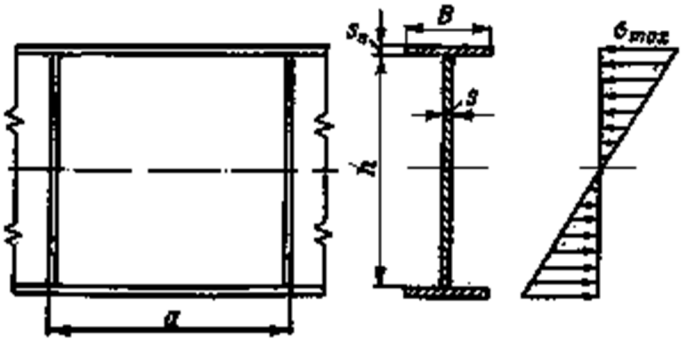

Рисунок 1 – Участок вертикального листа, проверяемый на устойчивость

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 допускаемых при любом значении ее толщины (рисунок 1).

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 $E=2{,}1 \cdot 10^6$ кгс/см^2 $=2{,}1 \cdot 10^5$ 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 $s \geqslant \frac{h\sqrt{R}}{8160} \geqslant \frac{h}{\theta_1}.$

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:

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

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

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.

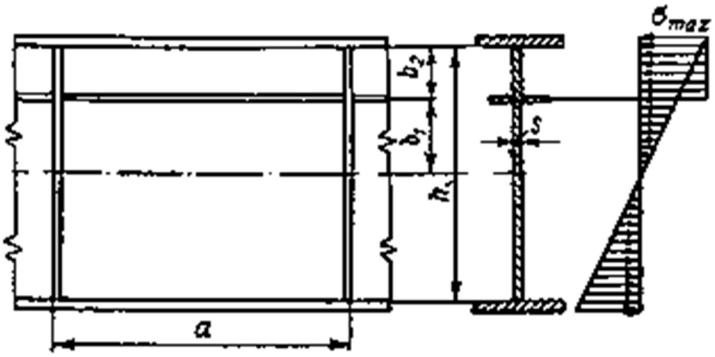

Рисунок 2 – Схема участка вертикального листа при подкреплении горизонтальным ребром

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:

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

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/см² (10МПа)	Для вертикального листа			Для пояса	
	$\theta_2 = \frac{h}{s}$	$\theta_2 = \frac{b_1}{s}$	$\theta_3 = \frac{h}{s}$	$\theta_4 = \frac{B}{s_n}$	$\theta_5 = \frac{t}{B}$
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 3, 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

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

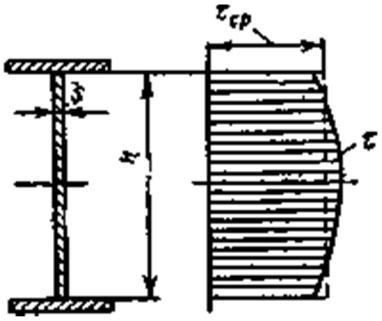

Рисунок 3 – Эпюра касательных напряжений

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	∞
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

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

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

Таблица 3 - Значения коэффициента **с**

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

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

Момент сопротивления может быть выражен через размеры сечения следующим образом:

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

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;

$F_п$— площадь сечения пояса.

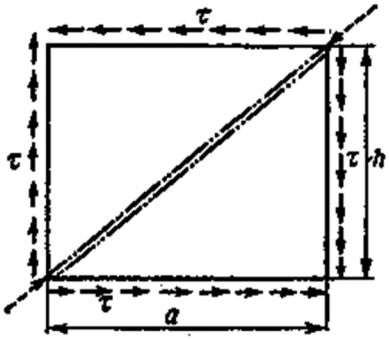

Рисунок 4 – Схема действия касательных напряжений на опорный участок вертикального листа

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:

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

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

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

Здесь $S_п$ — 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

$$F_ш = 1{,}4k. \qquad T_1 = \tau s = \frac{QS'}{J}.$$

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

$$k = \frac{QS'}{1{,}4JR_{ср}^{св}}$$

Здесь $R_{ср}^{св}$ — 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. Приближенно считают, что длина этого участка равна $l_ш = 30s,$ где s — толщина вертикального листа.

Дополнительные напряжения в швах в районе действия опорной реакции $\mathbf{R_a}$ будут

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

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

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

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

В тех случаях, когда дополнительные срезывающие 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 срезывающих 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).

Контрольные вопросы:

1. Как изменяются коэффициенты для подбора размера вертикального листа и поясов при увеличении расчетного сопротивления основного металла (см. табл.1)?
2. Можно ли толщину вертикального листа в средней части балки принимать минимальной? Почему?
3. По каким формулам производят проверку местной устойчивости?
4. От чего зависит величина катета поясного шва сварной балки?
5. По какому условию определяется величина катета?
6. Какие напряжения воспринимают поясные швы?
7. Как будет изменяться расчетная величина сварного шва балки при увеличении прочности основного металла?
8. Почему расчетную толщину сварного шва при полуавтоматической и автоматической сварке допускается принимать конструктивно (без расчетов)?