

Особенности применения балок переменного сечения

Врублевский П.С., Специан В.С., Шульга Д.О.

(Научный руководитель – Башкевич И.В.)

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В своем развитии металлоконструкции имеют тенденцию к уменьшению их металлоемкости. В этом контексте сварные балки решают проблему уменьшения массы несущих конструкций. В балке, работающей на изгиб, наиболее напряженная зона – полка. Стенка нагружена в меньшей степени. Следовательно, основная масса металла должна находиться в полках, а в стенках – меньшая доля.

Сварка позволяет создавать рациональные профили. Именно благодаря применению сварки удастся создавать балки разнообразных размеров – высотой до 3...4 м и более. Сварка позволяет наиболее рациональным образом сочетать размеры горизонтальных листов, называемых поясами, с вертикальной стенкой. Поэтому применяются балки с относительно толстыми полками в сочетании с высокими тонкими стенками.

Показателем экономичности сечения балки служит параметр W/A , где W – момент сопротивления профиля, A – площадь сечения профиля. Чем выше это отношение, тем меньшая масса металла необходима для увеличения сопротивления профиля на изгиб. Однако создавать чрезмерно тонкие вертикальные стенки невозможно из-за потери местной устойчивости.

Прокат двутавровых профилей производительней сварки. Но возможность создавать сварные конструкции с желаемыми соотношениями размеров, снижает расход металла и делает их более экономичными и более рентабельными по стоимости.

Поперечные сечения балок двутаврового профиля иногда изменяются по длине. В некоторых случаях изменяют толщину или ширину горизонтальных листов. Это более целесообразно, чем изменять толщину вертикальных листов. Балки переменного сечения позволяют лучше использовать несущую способность металла по всей их длине. Они дают экономию металла в сравнении с балками

постоянного профиля, значительная часть которых работает при напряжениях, значительно меньших предельных. В технологическом отношении изготовление балок переменного профиля несколько сложнее. Вопрос выбора конструкций решается с экономических позиций, а иногда и с учетом общей компоновки и эстетики.

Балки составного сечения применяют в случаях, когда прокатные балки не удовлетворяют условиям прочности, жесткости, общей устойчивости из-за ограниченности сортамента, т. е. при больших пролетах и изгибающих моментах, а также если они экономичнее. Компоновка и подбор сечения составных балок производится по максимальному изгибающему моменту.

Изменение сечения балки по длине

Сечение составной балки, подобранное по максимальному изгибающему моменту, можно уменьшить в местах снижения моментов (в разрезных балках – у опор). Однако каждое изменение сечения, дающее экономию материала, несколько увеличивает трудоемкость изготовления, и потому оно экономически целесообразно только для балок пролетом более 12 м.

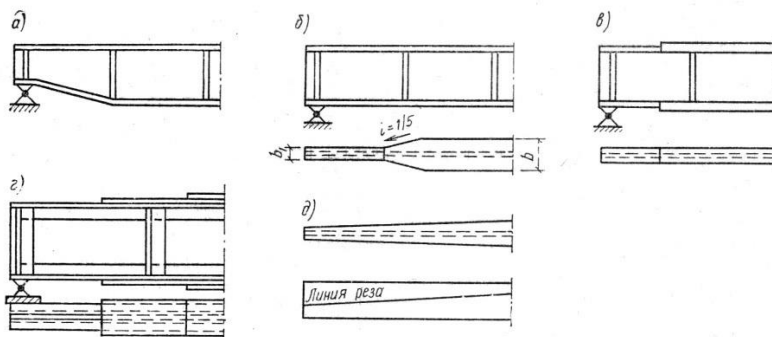


Рисунок 1 – Изменение сечения балок по длине:

- а – изменением высоты балки; б – изменением ширины поясов;
- в – изменением толщины поясов; г – изменением количества горизонтальных листов;
- д – непрерывным изменением ширины поясов

Конструктивные решения возможных изменений сечение балки приведены на рисунке 1 [1]. В сварных балках распространено изменение ширины пояса, высота балки при этом сохраняется посто-

янной. При равномерной нагрузке наивыгоднейшее по расходу стали место изменения сечения поясов однопролетной сварной балки находится на расстоянии примерно 1/6 пролета балки от опоры. Действующий в этом месте момент может быть найден графически по эпюре моментов или по формуле

$$M_1(x) = \frac{qx(l-x)}{2}.$$

В балках переменного сечения развитие пластических деформаций следует учитывать только в одном сечении с наиболее неблагоприятным сочетанием M и Q , в остальных сечениях развитие пластических деформаций не допускается.

По моменту $M_1(x)$ определяют необходимый момент сопротивления сечения балки исходя из упругой работы материала и подбирают новое сечение поясов. Ширина поясов при этом должна отвечать следующим условиям:

Возможен и другой подход. Задают ширину поясного листа уменьшенного сечения и определяют изгибающий момент, который может воспринять сечение:

$$W_1 = \frac{2l_1}{h}; \quad M_1 = W_1 R_y,$$

при $M(x) = M_1$ находят расстояние от опоры, где изменяется сечение пояса.

Определение прогибов балки

Нормальные напряжения в балках, поперечные сечения которых изменяются по длине, могут быть с достаточной точностью определены по формуле [2]

$$\sigma(z) = \frac{M_x(z)}{I_x(z)} \cdot y.$$

Перемещения сечений таких балок удобно определять способом Мора:

$$\delta = \sum_1^n \int_1^2 \frac{M_x^F(z) \cdot M_x^1(z)}{E \cdot I_x(z)} dz,$$

где $I_x(z)$ – момент инерции текущего сечения.

В балках ступенчатого сечения интеграл Мора на каждом участке с $I_x(z) = \text{const}$, может быть вычислен по способу Верещагина [3], как и для балок постоянного сечения. Этот способ применим и при плавном изменении размеров сечения, если пользоваться эпюрой приведенных моментов:

$$\delta = \sum_1^n \int \frac{M_x^q(z) \cdot M_x^1(z)}{E \cdot I_x(z)} dz = \sum_1^n \frac{\omega \cdot y_c}{E \cdot I_x(z)}$$

Таким образом операция интегрирования заменяется перемножением площади ω одной эпюры на ординату y_c второй (обязательно линейной) эпюры, взятой под центром тяжести площади ω .

Последовательность действий при вычислении перемещений по способу Верещагина [2]:

1) построить эпюру изгибающих моментов от заданной нагрузки (основная эпюра);

2) снять с балки заданную нагрузку (но сохранить опоры) и приложить в сечении, перемещение которого ищется, в направлении этого перемещения единичную силу, когда ищется прогиб, или единичную пару, если искомым является угол поворота;

3) построить эпюру изгибающих моментов от единичной нагрузки (единичная эпюра);

4) разбить эпюры от заданных нагрузок на отдельные площади ω_i и вычислить ординаты y_{Ci} единичной эпюры под центрами тяжести этих площадей (см. таблицу 1);

5) составить произведение $\omega_i \cdot y_{Ci}$ и просуммировать их.

Пример расчета балки нагруженной равномерно распределенной нагрузкой

Рассмотрим три состояния балки. Первое (грузовое) – при действии заданной распределенной нагрузки q ; ему соответствует эпюра моментов M_q . Второе состояние (единичное) – при действии сосредоточенной силы $\vec{F} = 1$, приложенной по середине балки; ему соответствует эпюра моментов M_1 . Примем начало координат на левой опоре, тогда ординаты указанных эпюр в сечении с координатой z соответственно равны

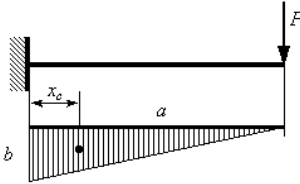
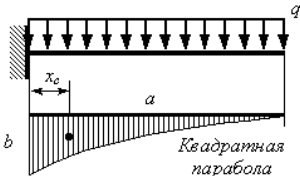
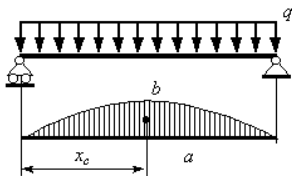
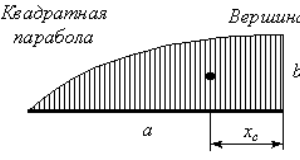
$$M_q(z) = \frac{qL}{2}z - \frac{qz^2}{2} = \frac{qz}{2}(L - z),$$

$$M_1(z) = \frac{1}{2}z, \quad 0 \leq z \leq \frac{L}{2}$$

Тогда прогиб балки посередине равен:

$$y_c = 2 \int_0^{\frac{L}{2}} \frac{M_q(z) \cdot M_1(z) \cdot dz}{E \cdot I_x(z)} = 2 \int_0^{\frac{L}{2}} \frac{\frac{qz}{2}(L - z) \cdot \frac{1}{2}z \cdot dz}{E \cdot I_x(z)} = \frac{q}{2E} \int_0^{\frac{L}{2}} \frac{z^2 \cdot (L - z) \cdot dz}{I_x(z)}$$

Таблица 1 – Ординаты центра тяжести эпюр изгибающих моментов

Вид эпюры M_z	Площадь ω	Координата центра тяжести y_c
	$\frac{ab}{2}$	$\frac{a}{3}$
	$\frac{ab}{3}$	$\frac{a}{4}$
	$\frac{2ab}{3}$	$\frac{a}{2}$
	$\frac{2ab}{3}$	$\frac{3a}{8}$

Проверка жесткости балки переменного сечения

Проверка второго предельного состояния (обеспечения условий для нормальной эксплуатации сооружения) ведется путем определения прогиба балки при допущении упругой работы материала. Полученный относительный прогиб является мерой жесткости балки и не должен превышать нормативного, зависящего от назначения балки.

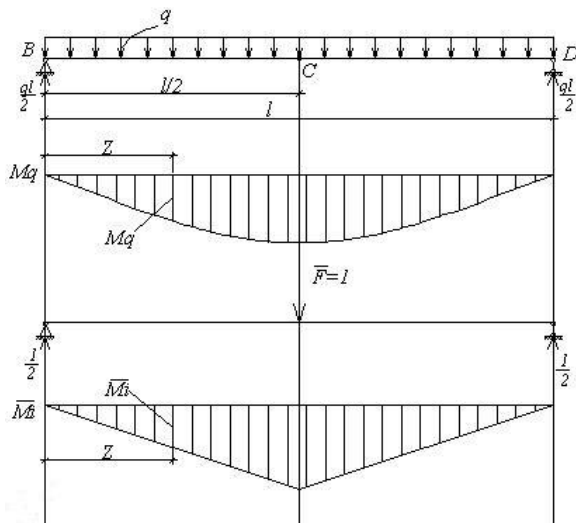


Рисунок 2 – Эпюры изгибающих моментов от действия распределенной нагрузки и от действия единичной силы

Прогиб составной балки не должен превышать значений, указанных в СНиП [4]. В разрезных балках при равномерно распределенной нагрузке прогиб определяется в середине пролета по сечению, полученному из условия прочности. Какое же влияние оказывает изменение сечения на жесткость балки и насколько существенно оно?

Для выяснения этого обстоятельства на программном комплексе «Лира 9.6» был выполнен проверочный расчет балки переменного сечения, приведенной на рисунках № 3 и 4 при различных расстояниях места изменения сечения поясов.

Полученные результаты исследования зависимости значения прогибов и нормальных напряжений от места расположения сварного шва ($x=1/6$ пролета) приведены ниже (рисунок 5).

Как следует из графика прогибов изменение ширины пояса балки на длине $x=1/6$ l приводит к увеличению прогиба балки на $(38-37)/37 \times 100 = 2,70\%$ по отношению к балке постоянного сечения.

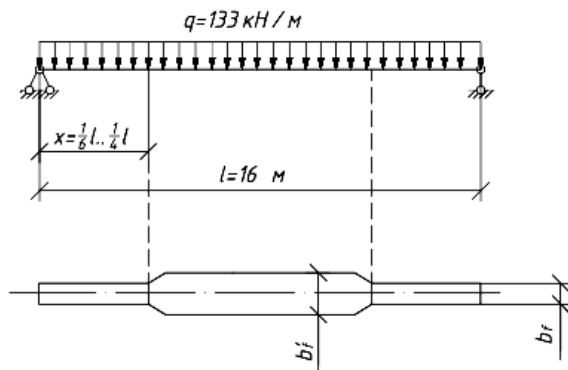


Рисунок 3 – Расчетная схема балки

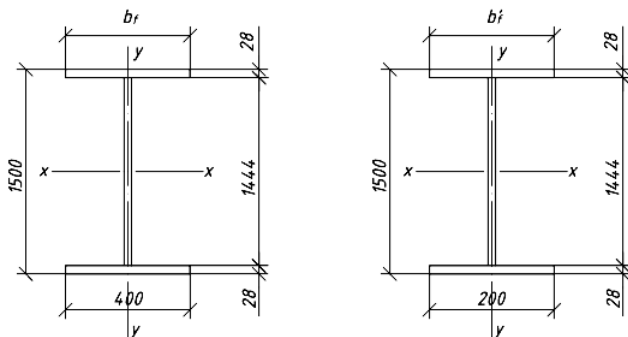


Рисунок 4 – Поперечные сечения балки

Выводы

Строительство зданий из металлоконструкций идет по пути снижения металлоемкости каркаса для уменьшения себестоимости. Для строительства производственных зданий широкое применение получили конструкции каркаса с использованием балок переменного сечения.

Изменять сечение балки можно уменьшением её высоты или сечения поясов при конструктивно простом исполнении. Из этих со-

ображений очень редко изменяют высоту балки по длине и оставляют сечение стенки постоянным, а уменьшают площади поясов, что достигается уменьшением ширины поясов. Рациональное место изменения сечения находится на расстоянии

Применение балок переменного сечения рационально в качестве несущих конструкций покрытий, конструкций различного рода технологических площадок, балок железнодорожных вагонов, несущих конструкций мостов и путепроводов.

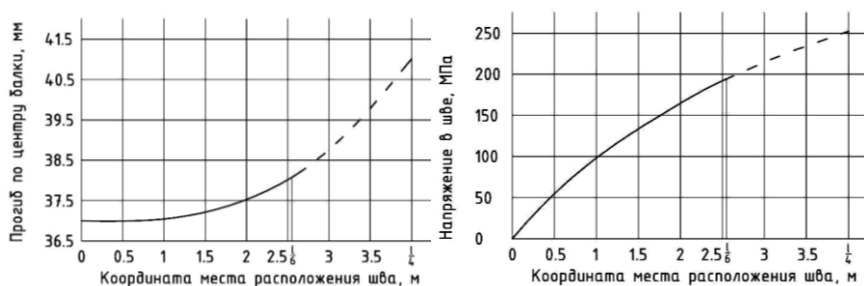


Рисунок 5 – Зависимости значения прогибов и нормальных напряжений от места расположения стыкового шва пояса

Как показали приведенные проверочные расчеты изменение сечения балки в указанных пределах с учетом конструктивных ограничений не оказывает существенного влияния на жесткость конструкции. Прогиб в середине пролета при полном использовании несущей способности измененного сечения возрастает всего лишь на 2,7%.

Литература

1. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е.И. Беленя, В.А. Балдин, Г.С. Веденников и др.; Под общ. ред. Е.И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986.-560с., ил.
2. Михайлов. А. М., М 69 Сопротивление материалов: Учеб.для техникумов. – М.: Стройиздат, 1989. – 352 с.: ил.
3. Тимошенко С. П., Сопротивление материалов, т.I. – М., 1965 г., 364 стр. с ил.
4. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия/Госстрой СССР.- М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1986.-36 с.