

## Стальные балки и балочные клетки.

План.

1. Общие сведения. Область применения балок.
2. Расчет прокатных балок.
3. Балочные клетки.
4. Узлы и детали стальных балок
4. Современные балки

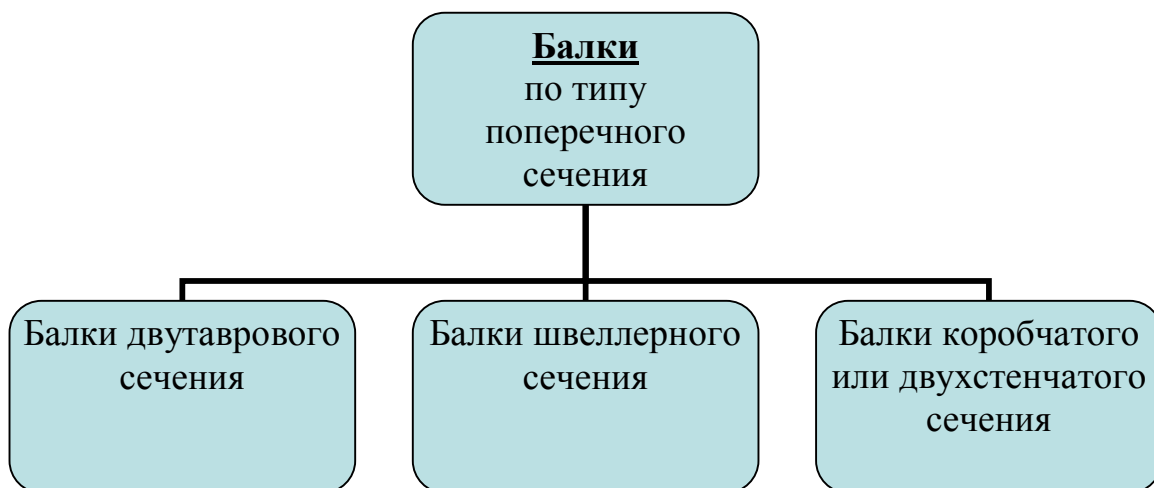
### 1. Общие сведения. Область применения балок.

Балки являются одним из наиболее часто применяемых элементов конструкций. Они широко используются в покрытиях и междуэтажных перекрытиях зданий, в подкрановых эстакадах, в рабочих площадках промышленных цехов, в мостах и других самых разнообразных сооружениях. Вместо балок могут быть применены сквозные конструкции — фермы, трудоемкость изготовления которых выше, а расход материала (при значительных пролетах) меньше, поэтому балки чаще всего применяют для перекрытия небольших пролетов.

Чаще всего применяют балки двутаврового поперечного сечения. Вертикальный лист называют стенкой, а горизонтальные листы — поясами или полками. Высотой балки называют расстояние между наружными гранями полков (т. е. полную высоту балки).



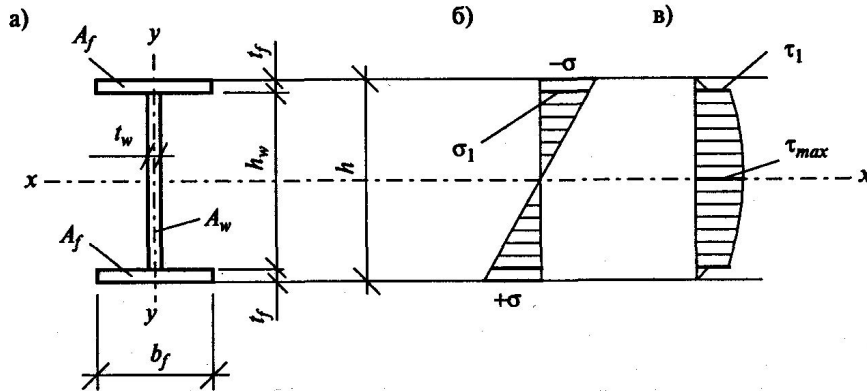
Классификация балок по типу поперечного сечения.



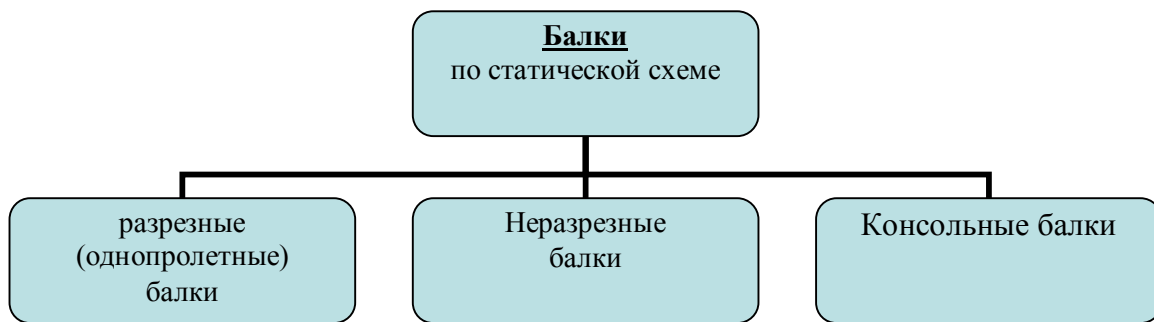
В балках наибольшие нормальные напряжения возникают в крайних фибрах, поэтому наиболее экономичными получаются сечения, в которых максимальное количество материала сосредоточено в зонах с наибольшими напряжениями. Такими сечениями будут:

- а) двутавровое — применяется чаще всего, так как является весьма «конструктивным», т. е. удобным при изготовлении;

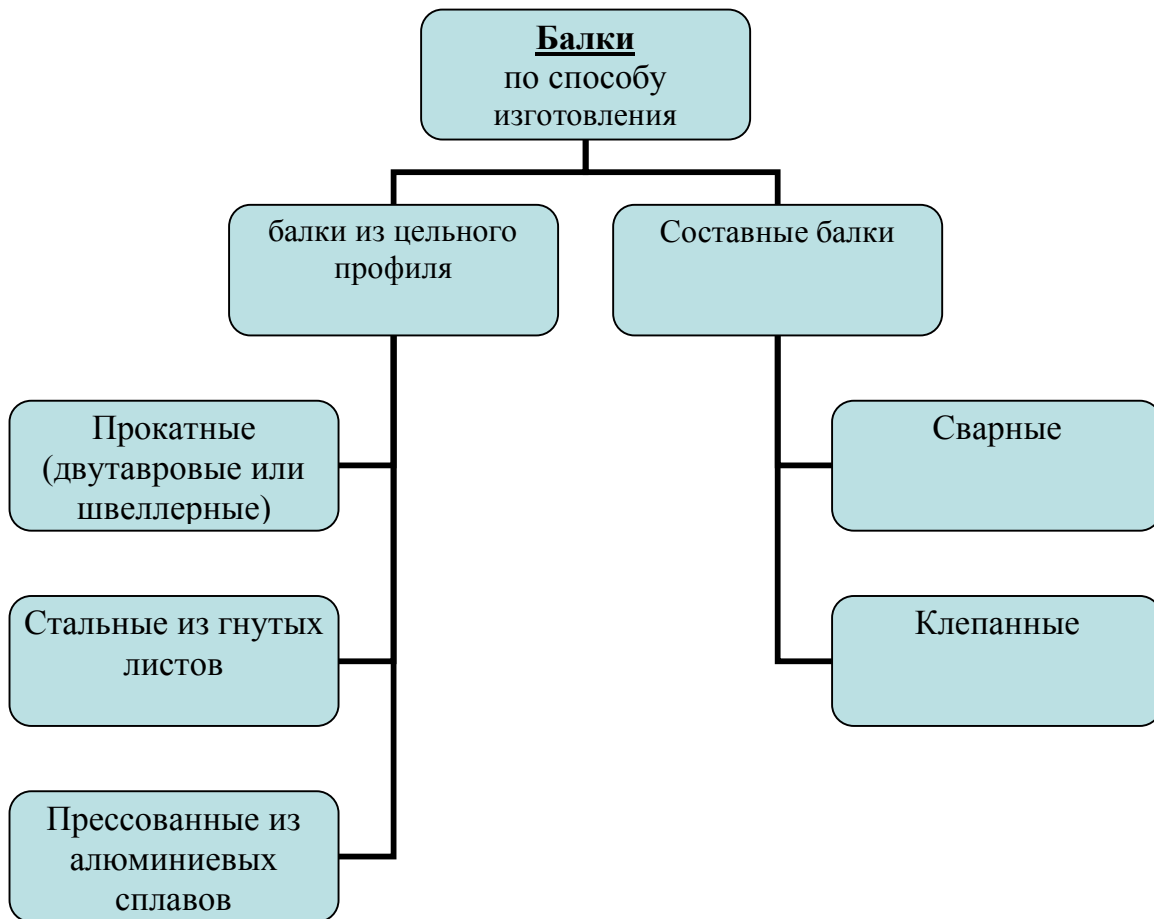
- б) швеллерное — используется для балок, работающих на косоу изгиб, и для балок самых малых пролетов;  
 в) коробчатое или двухстенчатое—применяется для мощных балок, и для балок, в которых могут возникнуть крутящие усилия.



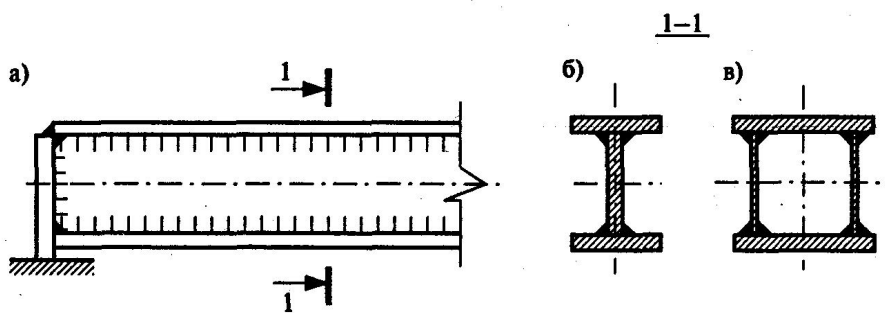
Напряжения в стальной двутавровой балке: а) обозначения, принятые при расчетах составных сварных балок; б) эпюра  $\sigma_x$ ; в) эпюра  $\tau_x$



Чаще всего применяют разрезные (однопролетные) балки как наиболее удобные в монтаже. Неразрезную схему используют иногда при больших пролетах, когда каждый процент экономии металла составляет значительную сумму. Расход материала снижается потому, что в неразрезной балке максимальные моменты меньше, чем в разрезной. Кроме того, изгибающие моменты по длине неразрезной балки распределены равномернее, а практика проектирования показала, что чем равномернее их распределение, тем экономичнее получается конструкция большого пролета. Монтаж неразрезных балок сложнее, при случайных осадках опор в них возникают дополнительные напряжения. Реже применяются консольные балки, хотя они несколько экономичнее по расходу металла, чем разрезные балки. Основной недостаток консольных балок — большие прогибы концов консолей.



При небольших пролетах — употребляют балки из цельного профиля: прокатные — двутавровые или швеллерные, стальные из гнутых листов или прессованные из алюминиевых сплавов. Эти балки минимально трудоемки, но высота их ограничена сортаментом, поэтому при значительных нагрузках и пролетах приходится проектировать балки составного сечения. Составные балки, как правило, делают сварными из трех листов: одного вертикального и двух горизонтальных. Клепанные балки тяжелее сварных примерно на 15% и на 10-20% более трудоемки а изготовлении, поэтому их применяют редко.



**Сварные балки: а) вид сбоку;  
 б) балка двутаврового сечения;  
 в) балка двустенчатого сечения**

## 2. Расчет прокатных балок.

Расчет балок проводят по двум группам предельных состояний. По первому предельному состоянию ведут расчет на прочность, общую и местную устойчивость, а по второму предельному состоянию производят расчет по деформациям.

Подбор сечения прокатных балок можно выполнять в следующей последовательности:

1. Определяют тип балочной клетки, шаг балок, пролет балки;
2. Собирают нагрузки на один погонный метр балки с учетом нагрузки от ее собственного веса (нагрузка от веса балки принимается приблизительно);
3. Определяют расчетную схему балки и строят эпюры поперечных сил и моментов.
4. Принимают сталь и находят ее расчетное сопротивление; устанавливают коэффициент условия работы  $\gamma_c$ .
5. По максимальному моменту определяют требуемый момент сопротивления из уравнения:

$$W^{mp} = \frac{M\gamma_n}{R_y\gamma_c}.$$

6. По сортаменту прокатных профилей находят двутавр, имеющий момент сопротивления, который равен или несколько больше требуемого. Для подобранного двутавра выписывают фактические значения: момента сопротивления  $W_x$ ; момента инерции  $I_x$ ; площадь сечения двутавра  $A$ .
7. Для контроля подобранного сечения производят проверку подобранного сечения двутавра по формуле:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq \frac{R_y\gamma_c}{\gamma_n}.$$

8. Двутавровые балки, выполненные из прокатных профилей, при действии на них равномерно распределенной нагрузки можно не рассчитывать по прочности на касательные напряжения. но в случае воздействия на них сосредоточенных сил следует проверить подобранное сечение по формуле:

$$\tau = \frac{QS_x}{I_x t} \leq \frac{R_y\gamma_c}{\gamma_n}.$$

9. Проводят расчет балки по деформациям. Для однопролетной шарнирно-опертой балки расчет по деформациям ведется по формуле:

$$\frac{f}{l} = \frac{5q^n l_{ef}^3}{384EI_x} \leq \left[\frac{f}{l}\right],$$

где  $\left[\frac{f}{l}\right]$ - предельно допустимое отношение прогиба к длине балки, определяется по таб.40 СНиП II-23-81\*.

В случае если прогиб получился больше предельного, следует увеличивать сечение балки и заново производить проверку прогиба. Расчет балок из прокатных швеллеров производят аналогично расчету балок из прокатных двутавров.

Прогиб балок определяется на действие нормативных нагрузок, так как данный расчет относится ко второй группе предельных состояний.

### 3. Балочные клетки.

**Балочной клеткой** называется система перекрестных балок, предназначенная для опирания настила при устройстве перекрытия над какой-либо площадью.

Балки, опирающиеся на стены или колонны, называются **главными**. На главные балки опираются **поперечные** балки, которые служат опорами для продольных балок. Поперечные и продольные балки часто называют **второстепенными** или вспомогательными. Продольные балки поддерживают настил (железобетонный или стальной). По настилу иногда еще устраивается пол. Полы бывают деревянные, асфальтовые, клинкерные, чугунные и др. (в зависимости от технологии производства).

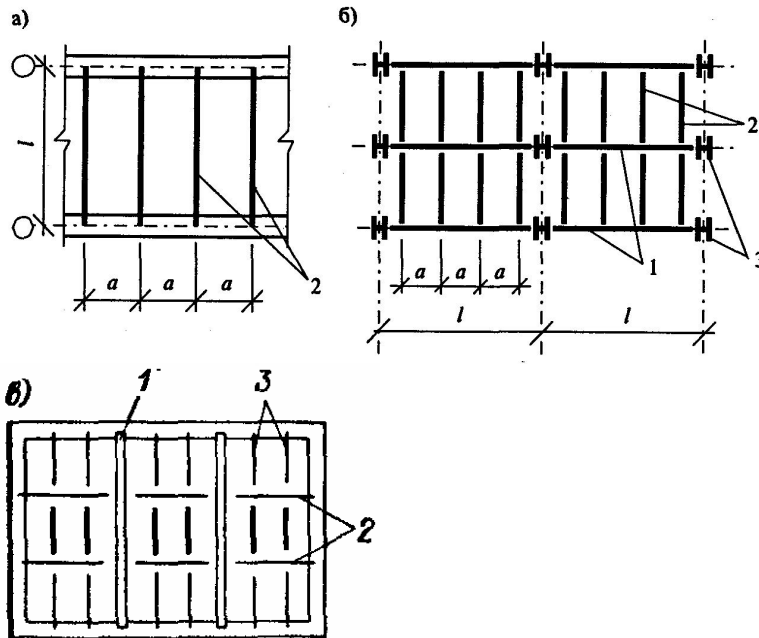
Балочные клетки применяются очень часто, например, в междуэтажных перекрытиях, для внутрицеховых рабочих площадок, в проезжей части мостов и др. Различают следующие типы балочных клеток:

- а) упрощенная (имеются только главные балки);

- б) нормальная (состоит из главных и поперечных вспомогательных балок);
- в) усложненная (имеются все три типа балок).

Нагрузку на любой элемент балочной клетки определяют по величине соответствующей этому элементу грузовой площади.

Нагрузками для балочных клеток являются: а) собственная масса строительных конструкций; б) вес полезной нагрузки и стационарного оборудования; в) вес подвижного оборудования (кранов) и средств железнодорожного и автотранспорта.



а – упрощенная балочная клетка; б – нормальная балочная клетка; в – усложненная балочная клетка; 1 – главные балки; 2,3 – балки настила.

### 3.4. Узлы и детали стальных балок

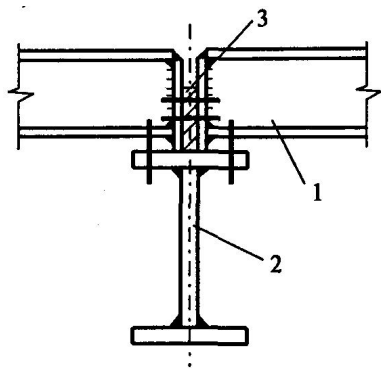
Балки могут опираться на стены, колонны, а в балочных клетках — на другие балки. Между собой балки сопрягаются обычно под прямым углом, но встречаются и косые сопряжения. Известно много вариантов узлов. Все они разделяются на два вида:

- а) рассматриваемые при расчете как шарнирные; б) принимаемые за жесткое защемление.
- Первые применяются в большинстве случаев, вторые — преимущественно в каркасах многоэтажных зданий. Необходимо учитывать, что «шарнирные» узлы устроены так, что в них фактически тоже возникают моменты.

Сопряжения балок бывают трех типов:

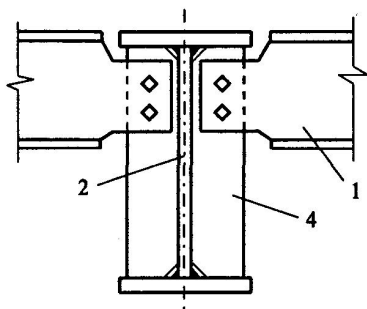
- а) этажное;
- б) в одном уровне;
- в) пониженное.

**Этажное сопряжение** наиболее удобно для монтажа: балки одного направления попросту укладываются сверху на балки другого направления, поэтому его следует применять во всех случаях, когда это позволяет строительная высота. Расчет сопряжения сводится к расчету ребер жесткости в месте опирания балок. Болты (или монтажные швы) не рассчитывают (они предусмотрены только для фиксирования положения балок).



1 – балка настила; 2 – главная балка; 3 – стальная прокладка.

**Сопряжение в одном уровне** называется так потому, что верхние полки главных и второстепенных балок размещаются в одном уровне. Достоинства такого сопряжения — меньшая строительная высота сопряжения.



1 – балка настила; 2 – главная балка; 4 – ребро жесткости главной балки.

**В пониженном сопряжении** верх поперечных балок ниже верха главных балок.

Сопряжения в одном уровне и пониженное проще всего осуществить, прикрепив поперечную балку к ребру жесткости главной балки.

#### 4. Современные балки.

*Балки с ортотропной плитой* — балки, верхние пояса которых образованы из стального листового настила, усиленного продольными и поперечными ребрами. Продольные ребра необходимы для того, чтобы листовая настил не потерял местную устойчивость (не выпучился) от сжимающих напряжений, поэтому их ставят часто (расстояние между ребрами не превышает 70 толщин настила). Поперечные ребра размещают значительно реже, вследствие чего настил имеет различные механические свойства в продольном и поперечных направлениях (этим определился термин — конструкции с различными свойствами по взаимно перпендикулярным направлениям называют ортотропными).

Балки с ортотропной плитой весьма экономичны и обладают большой жесткостью при небольшой высоте.

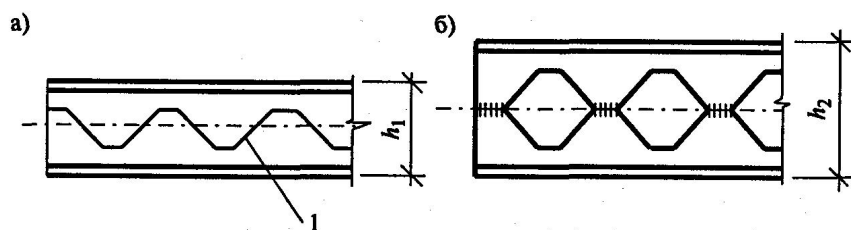
*Балки с гибкой стенкой* отличаются необыкновенно тонкой стенкой. Различают два типа — с промежуточными ребрами жесткости и только с опорными ребрами, без промежуточных.

Эксперименты показали, что после того, как тонкая стенка выпучится, она начинает работать на растяжение в наклонном направлении, и нагрузку на балку можно еще увеличивать. Грубо говоря, такая балка работает как ферма с нисходящими раскосами, у которой роль растянутых раскосов выполняет стенка, а роль сжатых стоек — поперечные ребра жесткости или складки стен.

*Балки с перфорированной стенкой* (или сквозные двутавры) образуются разрезкой широкополочных двутавров по зигзагообразной линии с последующей сваркой гребней встык. В такой балке высота и момент сопротивления в 1,3—1,5 раза, а момент инерции в 1,5—2 раза получаются больше, чем у исходного двутавра. В конструкции для верхней

сжатой) части используется профиль большего сечения из стали Ст3, а нижняя (растянутая) часть выполняется из профиля меньшего сечения, но из более прочной стали. Такие *бистальные* сквозные двутавры особенно экономичны — они конкурируют даже со сквозными фермами (так как обладают высокой транспортабельностью или малой трудоемкостью изготовления).

Сквозные двутавры наиболее рациональны для балок пролетом 12 м (например, прогонов), но пролеты их могут достигать 36 м.



**Выполнение перфорированной балки: а) прокатная двутавровая балка; б) перфорированная балка; 1 — линия разрезки;**