

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Архитектурно-строительный факультет

Кафедра строительных материалов и конструкций

## **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

для студентов специальности 08.05.01 «Строительство  
уникальных зданий и сооружений»

Краснодар  
КубГАУ  
2019

*Составитель: С. Л. Паниева*

**Металлические конструкции** : метод рекомендации /  
сост. С. Л. Паниева. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 90 с.

В методических рекомендациях изложен лекционный материал по дисциплине «Металлические конструкции». Содержатся определения основных понятий, классификация металлических конструкций, рассмотрены особенности их работы.

Предназначены для студентов очной формы обучения специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Рассмотрено и одобрено методической комиссией инженерно-строительного факультета Кубанского госагроуниверситета, протокол № 3 от .11.2019.

Председатель  
методической комиссии



А. М. Блягоз

© Паниева С. Л.,  
составление, 2019  
© ФГБОУ ВО «Кубанский  
государственный аграрный  
университет», 2019

## ВВЕДЕНИЕ

Металл применяется человеком с древнейших времен. Умение плавить и изготавливать металлические изделия дало ощутимый толчок в развитии всей нашей цивилизации. Применяется он поистине повсеместно, во всех областях человеческой деятельности.

Практически никакое строительство невозможно без использования металлических конструкций.

При необходимости возвести в короткое время склад или иное производственное помещение наилучшим выбором опять же являются металлоконструкции. Применение технологии возведение каркасных складов из металлоконструкций и шлюз-тамбуры позволяют в очень короткие сроки возвести склад для хранения любых видов продукции. Использование шлюз-тамбуров позволяет задействовать все помещение, так как они представляют собой конструкции, включающую в себя перегрузочные мосты с откидной аппарелью и специальные герметизаторы, которые устанавливаются снаружи здания.

Возведение подобных сооружений невозможно без использования такого вида черного металлопроката как фасонный. Всевозможные балки, швеллеры и уголки являются неотъемлемой части металлоконструкций быстровозводимых зданий.

Строительство зданий без использования арматуры и других изделий черного металлопроката в настоящее время невозможно себе представить. Пользующееся популярностью монолитно-каркасное домостроение невозможно без применения долговечных и прочных изделий из металла. Так же в строительной области широкое применения находит использование перфорированного металлического листа, который используется и для фасадов, и для полов или подвесных потолков.

Невозможно представить себе современное строительство и без такого изделия металлопроката как трубы. Трубы могут быть различного диаметра и иметь различную форму сечения. Применяются в водопроводных и газовых, а так же отопительных сетях. В строительстве используются трубы, изготовленные из углеродистой, низколегированной или нержавеющей стали. Для повышения их надежности применяются различные способы обработки металла.

При проведении сварочных работ, без которых никакое строительство не обходится, так же используются изделия из металлопроката. Для ручной или автоматической сварки используется специальная металлическая сварочная проволока, а для производства электродов – оцинкованная.

Использование в качестве колонн и балок разного профиля швеллеров значительно ускоряет строительство и снижает затраты. Монтаж их выполняется быстрее, чем железобетонных. При одинаковой прочности металлические несущие конструкции имеют значительно более низкий вес. Использование каркаса из металлических балок и колонн позволяет применять для возведения стен пористые и более лёгкие стройматериалы. В целом, использование металла в строительстве приводит к значительному снижению веса здания и уменьшению нагрузки на фундамент. Он может быть выполнен менее массивным. Сравнительно новые технологии в строительстве – применение вентилируемых фасадов, здесь также используются для монтажа специальные конструкции из металлопрофиля.

Металл – один из наиболее экологически безопасных материалов. В последнее время расширяется его применение в коттеджном строительстве. Традиционная область использования – опоры для лестниц, несущие балки балконов, ограды. Она дополняется использованием металлопрофилей для каркаса обшивки стен, потолков, создания внутренних перегородок, а также в качестве каркаса стеновых панелей.

# **1 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

## **1.1 Металлические конструкции- области применения**

Металлические конструкции нашли широкое применение во многих инженерных сооружениях. Различают следующие области применения М.К.

1. Одноэтажные и многоэтажные производственные здания, выполненные в виде цельнометаллических или смешанных каркасов.

2. Большепролетные покрытия зданий и сооружений (спортивные сооружения, крытые рынки, театры, выставочные павильоны, ангары, судостроительные эллинги, авиасборочные цехи и др.). Имеют большие пролеты (от 40 до 100-150 м) перекрывать которые наиболее целесообразно металлическими конструкциями. Системы и конструктивные формы большепролетных покрытий разнообразны. Возможны балочные, рамные, арочные, висячие, комбинированные, как плоские, так и пространственные системы. Чтобы снизить расход металла и постоянную нагрузку, в большепролетных конструкциях целесообразно применять высокопрочные стали и алюминиевые сплавы.

3. Каркасы гражданских многоэтажных зданий. В зданиях этажностью более 40 этажей применяют стальные каркасы.

4. Крановые и другие подвижные конструкции (мостовые, башенные и козловые краны, краны-перегрузатели, крупные экскаваторы, затворы и ворота гидротехнических сооружений).

5. Мосты и эстакады. Пролетные строения железнодорожных мостов длиной >30м и автодорожных > 40м выполняют обычно стальными.

6. Высотные сооружения (телевизионные башни, мачты, опоры воздушных линий электропередачи, вытяжные башни, нефтяные вышки, дымовые и вентиляционные трубы, промышленные этажерки, геодезические вышки, надшахтные копры и многие другие сооружения).

7. Листовые конструкции - конструкции, состоящие в основном из металлических листов и предназначены для хранения, транспортирования жидкостей, газов и сыпучих материалов (резервуары различного назначения, бункеры, силосы, трубопроводы большого диаметра, конструкции доменного и химического производств).

8. Конструкции уникального назначения (радиотелескопы, антенны космической связи).

Такой широкий диапазон применения металлических конструкций, воспринимающих большие нагрузки от собственного веса и оборудования, имеющие большие пролеты и высоту, обусловлен рядом их достоинств: надежностью, высокой прочностью и легкостью.

## 1.2 Достоинства и недостатки стали и металлических конструкций (МК)

**Надежность** металлических конструкций обеспечивается близким совпадением их действительной работы (распределение напряжений и деформаций) с теоретическими расчетными предпосылками об упругой и упруго-пластической работе материала, обоснованными основными положениями сопротивления материалов и теории упругости и пластичности. Сталь – изотропный материал, имеет мелкозернистую структуру с одинаковыми механическими свойствами во всех направлениях.

**Легкость.** Из всех изготавливаемых в настоящее время несущих конструкций металлические конструкции являются относительно наиболее легкими, несмотря на высокую плот-

ность стали ( $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ ) по сравнению с бетоном ( $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$ ) и даже древесиной ( $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ ).

За показатель легкости  $s$  принимают отношение плотности материала  $\rho$  к его прочности  $R_y$ . Чем меньше значение  $s$ , тем относительно легче конструкция.

Конструкции из алюминиевых сплавов, обладающих прочностью близкой к прочности малоуглеродистой стали, а также плотностью, примерно в три раза меньшей, чем сталь ( $\rho=2700 \text{ кг/м}^3$ ), имеют наименьшее значение показателя  $s$ .

**Индустриальность.** Металлические конструкции в основной своей массе изготавливаются на заводах, оснащенных современным специальным оборудованием, а механизированный монтаж на месте возведения сооружения ускоряет ввод его в эксплуатацию. Все это исключает или до минимума сокращает тяжелый ручной труд.

**Непроницаемость.** Металлы обладают не только значительной прочностью, но и высокой плотностью – непроницаемостью для газов и жидкостей. Плотность металла и его соединений, осуществляемых с помощью сварки, является необходимым условием для изготовления листовых конструкций.

**Ремонтопригодность.** Применительно к стальным конструкциям наиболее просто решаются вопросы усиления, технического перевооружения и реконструкции. Хорошая приспособленность для крепления различных коммуникаций, нового технологического оборудования к элементам существующего каркаса с помощью сварки.

**Сохранность металлического фонда** – возможность использования металлоконструкций, отслуживших свой срок в результате физического и морального старения (возврат в отрасли хозяйства в виде металлического лома).

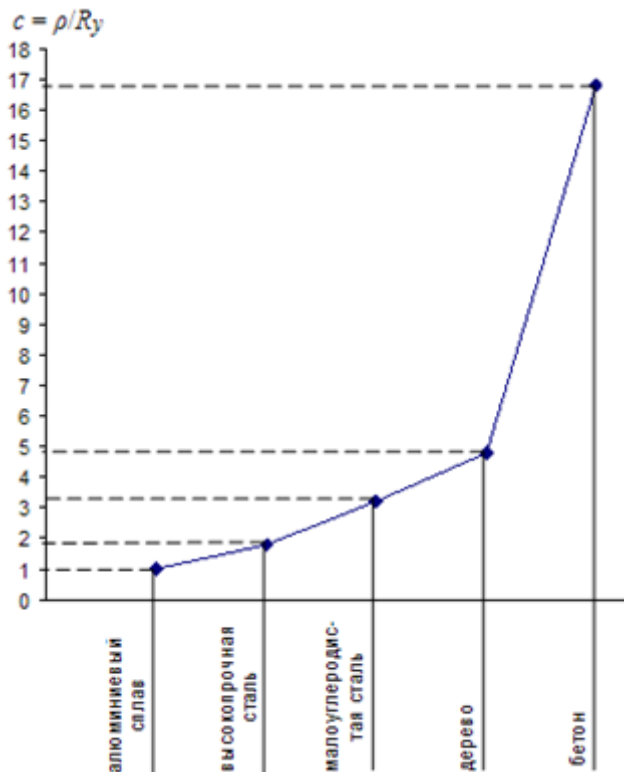


Рисунок 1.6 – Относительная легкость конструкции из различных материалов

**Лучшая приспособленность** металлоконструкций для тяжелых условий работы (высокая температура до  $+200^{\circ}\text{C}$ , динамические и циклические нагружения, большие нагрузки).

**Меньшая подверженность механическим повреждениям** в процессе перевозки, монтажа и эксплуатации.

Меньшая зависимость себестоимости от серийности, благодаря сравнительно малой стоимости вспомогательных приспособлений при изготовлении и монтаже. Возможность быстро перенастраивать оснастку изготовления.

Высокие эстетические свойства, возможность создания самых различных форм.

Металлические конструкции имеют и недостатки, для нейтрализации которых необходимы специальные меры.

**Коррозия** – разрушение металла вследствие химического или электрохимического взаимодействия с внешней средой. Металлические конструкции обладают сравнительно слабой коррозионной стойкостью, особенно в агрессивных условиях. Сталь, не защищенная от контакта с влагой в сочетании с вредными газами, солями, пылью, окисляется и становится непригодной к эксплуатации.

Значительно выше коррозионная стойкость у алюминиевых сплавов, применяемых в строительстве, благодаря образованию на поверхности прочной оксидной пленки. Хорошо сопротивляется коррозии чугун.

Повышение коррозионной стойкости металлических конструкций достигается включением в сталь специальных легирующих элементов (относительно дорогой способ), периодическим нанесением на поверхность изделий защитных лакокрасочных покрытий (принятый у нас основной способ), а также выбором при проектировании рациональной конструктивной формы элементов, удобной для очистки и защиты (без щелей и пазух, где могут скапливаться влага и пыль).

**Небольшая огнестойкость.** Металлические конструкции имеют сравнительно низкий предел огнестойкости, оцениваемый временем, в течение которого конструкция сохраняет свою несущую способность.

У стали при температуре  $t = 200^{\circ}\text{C}$  начинает уменьшаться модуль упругости  $E$ , а при  $t = 600^{\circ}\text{C}$  (алюминиевые сплавы при  $t = 300^{\circ}\text{C}$ ) она полностью переходит в пластическое состояние, деформируется и теряет свою несущую способность. Поэтому металлические конструкции зданий, опасные в пожарном отношении (склады с горючими и легковоспламеняющимися материалами, жилые и общественные здания и т.п.)

должны быть защищены путем устранения непосредственного контакта конструкций с открытым огнем или сильно нагретыми частями оборудования (устройство подвесных потолков, огнестойких облицовок, обмазка специальными составами, в отдельных случаях – устройство огнезащитных экранов).

### 1.3 Основные требования, предъявляемые к металлическим конструкциям

Блок основных требований, предъявляемых к металлическим конструкциям, представлен на рисунке 1.3. Большинству требованиям строительные конструкции должны соответствовать на стадиях проектирования, изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации.

Главное требование, не только к металлическим конструкциям, – это *соответствие эксплуатационному назначению*, т.е. обслуживанию того технологического процесса, который должен протекать в проектируемом здании или сооружении. При этом должны быть обеспечены удобство и безопасность с наименьшими затратами для поддержания конструкций в надежном состоянии. Это требование в основном определяет систему, конструктивную форму сооружения и выбор материала для него, Выполнению этого требования подчинены все задачи проектирования.

Технические требования сводятся к обеспечению прочности, устойчивости, жесткости. Эти требования определяются СНиП на проектирование металлоконструкций. Сюда же относится и требование надежности, которое заключается в том, что конструкция должна безотказно работать в течение заданного расчетного периода эксплуатации, и долговечности кон-

струкции, определяемой сроками ее физического и морально-го износа.



Рисунок 1.7 – Основные требования к металлическим конструкциям

Физический износ металлических конструкций связан с коррозией и с накоплением других эксплуатационных повреждений. Моральный – с изменением требований и условий эксплуатации (реконструкция производства, модернизация оборудования, изменение санитарных норм и т.п.).

**Экономичность** определяется затратами на металл и другие материалы, необходимые для изготовления конструкций, стоимостью изготовления, транспортирования и монтажа.

Экономия металла – одно из важнейших требований при проектировании металлических конструкций, так как стоимость металла составляет более половины стоимости конструкций. К тому же сталь является дефицитным материалом, широко применяемым в других областях промышленности.

Экономия металла достигается на основе реализации следующих основных направлений: совершенствование применяемых в строительстве металлоконструкций (практикой наработано большое количество различных видов конструкций); создание и внедрение в строительстве современных эффективных конструктивных форм и систем (пространственные, предварительно напряженные, висячие, структурные и т.п.); совершенствование методов расчета и изыскание оптимальных конструктивных решений с использованием электронно-вычислительной техники.

Совершенствование существующих конструкций, в первую очередь, обеспечивается применением сталей повышенной и высокой прочности, использованием наиболее экономичных прокатных и гнутых профилей.

Типизация, проводимая на ее основе унификация и стандартизация обеспечивают большую повторяемость, серийность изготовления конструктивных элементов и их деталей на заводах. Следовательно, они способствуют повышению производительности труда, сокращению сроков изготовления на основе эффективного использования более совершенного оборудования и специальных технологических приспособлений, создают благоприятные условия для разработки и внедрения особенно эффективного поточного метода изготовления и монтажа металлических конструкций.

**Транспортабельность конструкций.** В связи с изготовлением металлических конструкций на заводе с последующей перевозкой их к месту монтажа должно быть предусмотрено

разделение конструкций на отправочные элементы, соответствующие транспортным средствам по массе и габаритам.

Основным способом доставки конструкций является транспортирование их по железной дороге, поэтому отправочный элемент должен вписываться в железнодорожный габарит.

**Скоростной монтаж** определяется соответствием конструкции возможностям ее сборки в наименьшие сроки при меньшей трудоемкости с использованием современного монтажного оборудования. Быстрый ввод здания или сооружения в эксплуатацию позволяет получить дополнительную прибыль, тем самым компенсировать часть затрат на строительство.

Ведущим принципом скоростного монтажа является предварительная сборка конструкций в крупные блоки на земле с последующим подъемом и установкой их в проектное положение при минимальном объеме монтажных работ наверху.

**Эстетичность.** Конструкции независимо от их назначения должны обладать гармоничными формами, иметь приятный внешний вид, что особенно важно для общественных зданий и сооружений, отражать национальные особенности и традиции.

## 1.4 Строительные стали. Общие сведения

Сталь- сплав железа с углеродом, незначительным количеством примесей и легирующих добавок, которые улучшают качество стали. Основным химическим элементом, повышающим прочность стали является углерод. В зависимости от содержания углерода в составе стали бывают углеродистыми.

1 Малоуглеродистые-  $C=0,02-0,23\%$

2 Среднеуглеродистые-  $C=0,24-0,5\%$

3 Высокоуглеродистые-  $C=0,51-1,2\%$  .

В металлических конструкциях наибольшее применение получили малоуглеродистые стали, в виду их достаточной прочности и хорошей свариваемости. Наряду с углеродистыми стали бывают и легированными в зависимости от содержания легирующих добавок:

- низколегированные- 0-2,5% ;
- среднелегированные- 2,6-10% ;
- высоколегированные- >10% .

Качество стали во много определяется ее химическим составом; где химический состав- процентное содержание химических элементов в составе стали. В химический состав входят следующие основные элементы:

1) углерод, повышающий прочность стали, снижает пластичность и ухудшает свариваемость;

2) кремний- повышает прочность стали, ухудшает свариваемость и является хорошим раскислителем;

3) алюминий- хороший раскислитель стали;

4) марганец- повышает прочность стали, является хорошим раскислителем.

Существуют вредные примеси в составе стали- фосфор и сера. К вредным газам стали относят кислород и азот окружающего воздуха.

При производстве стали мартеновским или конверторным способами различают следующие степени ее окисления:

1) сталь кипящая, кипит при варке- КП;

2) сталь спокойная, не кипит при варке, так как содержит в хим. составе определенное количество раскислителя- СП;

3) сталь полуспокойная- не кипит при варке и содержит меньшее количество раскислителей, чем в спокойной стали- ПС

Для изготовления металлических конструкций стали должны обладать:

а) достаточными механическими свойствами- способность сопротивления статическим или динамическим нагрузкам;

б) хорошей свариваемостью, которая гарантируется хим. составом и технологией производства

в) коррозионной стойкостью, определяемой хим. составом и условиями эксплуатации

### 1.4.1 Прочностные и деформативные характеристики стали

Данные характеристики получают при испытании стальных образцов на одноосное растяжение и построением, так называемой диаграммы растяжения стали. Диаграмма растяжения стали это зависимость напряжений-  $\sigma$  от деформации стали-  $\epsilon$ .

Различают диаграммы растяжения сталей- мягкой и твердой; где первая диаграмма имеет ярко выраженную площадку текучести, а во второй диаграмме ее нет.

Прочностные характеристики мягкой стали:

- $\sigma_T$  - физический предел текучести;
- $\sigma_{вр}$  - предел прочности или временное сопротивление на разрыв.

Прочностные характеристики твердой стали:

- $\sigma_{вр}$  - временное сопротивление на разрыв

К деформативным характеристикам стали относят: модуль упругости

$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \tan \alpha$  – тангенс угла наклона диаграммы растяжения в упругой стадии,

$E = 2,06 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup> и относительное равномерное удлинение  $\delta_p$ - характеристика пластичности.

$\delta_p$ - отношение приращения длины стального образца после испытаний к его первоначальной длине, т.е.

$$\delta_p \frac{l_2 - l_1}{l} \cdot 100\% = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\%$$

## 1.4.2. Группы сталей по механическим свойствам

По механическим свойствам стали делятся на три группы.

1. Стали обычной прочности (малоуглеродистые стали).
2. Стали повышенной прочности.
3. Стали высокой прочности.

**Стали обычной прочности**, в которых основными легирующими добавками являются углерод, кремний, марганец. К ним относят марки сталей- Ст3, 3Гис. Данную сталь выпускают трех степеней раскисления- кипящей, спокойной, полуспокойной. В зависимости от назначения сталь обычной прочности поставляется по трем группам:

А- где гарантируется механические свойства;

Б- то же химический состав;

В- гарантируются механические свойства и химический состав.

Различают так же в зависимости от вида конструкций и условий эксплуатации шесть категорий данной стали. Прочностные и деформативные характеристики  $\sigma_T < 290 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{вр} < 390 \text{ МПа}$ ,  $\delta_p = 25-27\%$

### **Стали повышенной прочности**

Ее получают из стали обычной прочности с дополнительным легированием такими химическими элементами как хром, никель и т.д. Механические характеристики повышаются  $\sigma_T \leq 390 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{вр} < 540 \text{ МПа}$ ; и снижается пластичность  $\delta_p = 19-20\%$

### **Стали высокой прочности**

Получают из обычной малоуглеродистой, но дополнительным легированием и термической обработкой- закалкой (нагрев до  $900^\circ\text{C}$  и резким охлаждением в масле или в воде. Характеристики данной стали  $\sigma_T \leq 440 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{вр} \leq 590 \text{ МПа}$ ;  $\delta_p = 12-18\%$

По сравнению со сталью обычной прочности применение сталей повышенной и высокой прочности позволяют получить экономический эффект по расходу стали от 20 до 30%

### 1.4.3 Марки сталей для строительных конструкций

Выбор марок сталей металлических конструкций зависит от следующих факторов:

а) от температуры среды, в которой эксплуатируется конструкция;

б) от характера нагружения (статическое или динамическая нагрузка);

в) от вида напряженного состояния конструкции;

г) от вида соединения элементов конструкции.

Согласно СНиП II-23-81\* все виды металлоконструкций по маркам сталей разделены на четыре группы:

1ая группа- сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях воздействия динамической нагрузки. К свойствам сталей этих конструкций предъявляются наибольшие требования. Эти конструкции- подкрановые балки, элементы эстакад и т.п.)

2ая группа- сварные конструкции, работающие на статическую нагрузку при воздействии одноосного или двуосного поля растягивающих напряжений- это изгибаемые элементы-ригели, балки, плиты, фермы.

3-я группа- сварные конструкции, работающие при воздействии сжимающих напряжений- стойки, колоны, опоры.

4ая группа- вспомогательные конструкции- связи, элементы фахверка, лестницы, ограждения.

## 1.5 Основы расчета металлических конструкций

### 1.5.1 Метод расчета по предельным состояниям

Для обеспечения безопасной и нормальной эксплуатации все конструкции рассчитывают. Расчет необходим для определения возникающих в конструкциях усилий от действующих нагрузок, назначения необходимых размеров поперечного сечения несущих конструкций.

Основным методом расчета металлических конструкций сегодня является метод расчета по предельным состояниям.

Предельным называют такое состояние, при наступлении которого конструкция перестает удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям.

Под нормальной эксплуатацией понимается эксплуатация, осуществляемая в соответствии с предусмотренными в нормах или заданиях на проектирование технологическими или бытовыми условиями.

Существуют две причины, при которых конструкция теряет свои эксплуатационные свойства.

1 В результате исчерпания несущей способности (разрушения материала в наиболее нагруженных сечениях), а так же при потери некоторых элементов или всей конструкции в целом.

2 Ввиду наличия чрезмерных деформаций (прогибов, колебаний, осадки).

В соответствии с этими причинами различают две группы предельных состояний:

1-ая группа - расчет по несущей способности или по прочности.

Первая группа включает в себя состояния, которые ведут к полной непригодности к эксплуатации конструкций (зданий и сооружений в целом) или к полной (частичной) потере несущей способности зданий и сооружений в целом вследствие разрушения любого характера (вязкого, хрупкого, усталостного), потери устойчивости формы, потери устойчивости положения, перехода конструкции или здания (сооружения) в геометрически изменяемую систему (механизм), качественного изменения конфигурации в результате чрезмерного развития пластических деформаций, сдвигов в соединениях и др. Не разрушимость конструкций должна быть обеспечена на всем протяжении их работы, поэтому расчет конструкций по несущей способности

щей способности производится на *максимальное воздействие расчетных нагрузок*.

2-ая группа - расчет по непригодности к нормальной эксплуатации- расчет по деформациям.

Вторая группа включает предельные состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций или снижающие долговечность зданий (сооружений) по сравнению с предусматриваемым сроком службы вследствие появления недопустимых перемещений (прогибов, осадок опор, углов поворота), колебаний, трещин и т.п. (при эксплуатации металлических конструкций трещины недопустимы). При расчете конструкций или их элементов по второй группе предельных состояний перемещения и деформации определяют от *максимальных нагрузок нормальной эксплуатации*.

Цель расчета по предельным состояниям- не допускать наступления ни одного из предельных состояний во время срока службы здания или сооружения.

По первому предельному состоянию считают все металлические конструкции, независимо от напряженного состояния.

По второму предельному состоянию считают только изгибаемые элементы, так как в них проявляют деформации изгиба.

Аналитическая форма записи предельных состояний:

1-ое предельное состояние-  $N \leq S$

2-ое предельное состояние  $\left[ \frac{f}{e} \right]^{теор} \leq \left[ \frac{f}{e} \right]^n$

## 1.5.2 Нагрузки, действующие на металлические конструкции

Классификация нагрузок и воздействий с точки зрения их влияния на работу конструкций представлена на рисунке 1.7.

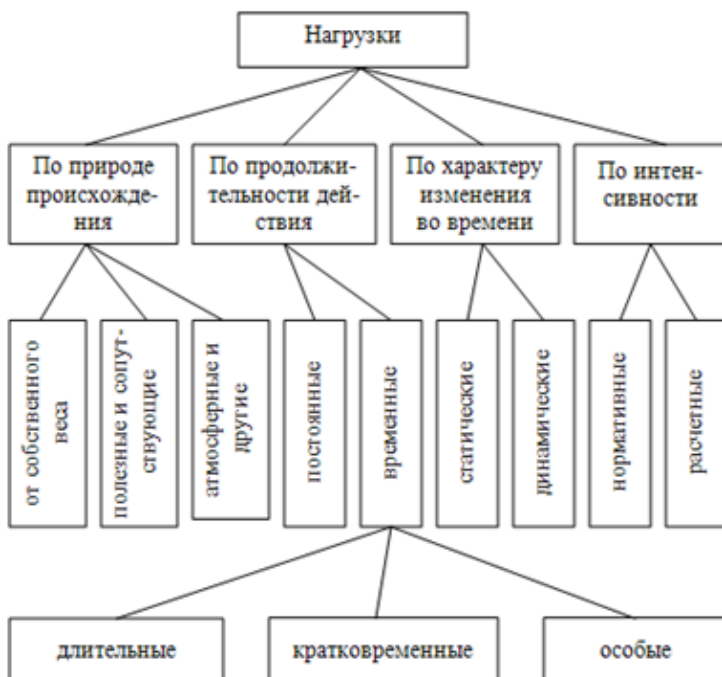


Рисунок 1.7 – Классификация нагрузок

**По природе происхождения** существуют следующие нагрузки: от собственного веса конструкций и грунтов; полезные и сопутствующие (от оборудования, людей, животных, складироваемых материалов и изделий, мостовых и подвесных кранов, отложений производственной пыли, и т.п.); атмосферные (от напора ветра, веса снега и гололеда); монтажные; аварийные; а также температурные (технологические и климатические), сейсмические и взрывные воздействия.

Основными характеристиками нагрузок являются их нормативные значения, т.е. максимальные значения, отвечающие нормальной эксплуатации:  $q_n$  – равномерно распределенные по площади;  $q_n$  – погонные;  $F_n$  – сосредоточенные).

Нормативные значения нагрузок, обычно принимаемых равномерно распределенными по площади, определяют по СНиП «Нагрузки и воздействия» [7], техническому заданию на проектирование, справочным данным:

- для нагрузок от собственного веса – по проектным значениям геометрических и конструктивных параметров и по средним значениям плотности с учетом имеющихся данных предприятий-изготовителей об ожидаемой массе конструкции (например, нагрузки от веса покрытия находят по толщине слоев – рулонного ковра, стяжки утеплителя, пароизоляции, несущей плиты и др.) и средней плотности материалов;

- для атмосферных нагрузок (например, ветровой, снеговой, гололедной, волновой, ледовой) и воздействий (например, температурных, влажностных) – по наибольшим годовым значениям, соответствующим определенному среднему периоду их превышения; нормативные значения атмосферных нагрузок, которые могут вызывать в конструкциях динамические усилия или деформации должны определяться с учетом динамических явлений и динамических характеристик конструкций. Значения таких нагрузок зависят от географического района. В нормах [7] территория России разделена на шесть снеговых, восемь ветровых и пять гололедных районов, для каждого из которых установлены соответствующие значения нагрузок;

- для технологических статических нагрузок (например, от оборудования, приборов, материалов, обстановки, людей) – по ожидаемым наибольшим значениям для предусмотренных условий изготовления, эксплуатации или производства работ с учетом паспортных данных оборудования;

- для технологических динамических нагрузок (от движущихся механизмов, машин, транспортных средств) – по значениям параметров, определяющим динамические воздействия, по значениям масс и геометрических размеров движущегося механизма или частей машины в соответствии с ее кинематической схемой и режимом работы. Например, для

нагрузки от мостовых и подвесных кранов находят по ГОС-Там на краны с учетом требований норм [7];

– для сейсмических и взрывных воздействий, а также для нагрузок, вызываемых резкими нарушениями технологического процесса, временной неисправностью или поломкой оборудования, в том числе наездом транспортных средств – в соответствии с требованиями специальных нормативных документов. Например, величины сейсмических воздействий определяют по СНиП II-7-81\* [8] в зависимости от района возведения сооружения (по двенадцатибальной шкале Рихтера) с учетом сейсмичности площадки строительства, определенной на основании сейсмического микрорайонирования;

– нормативные воздействия предварительного напряжения конструкций устанавливают в процессе проектирования.

Нагрузки, действующие на сооружение (конструкцию) в процессе эксплуатации, обладают определенной изменчивостью и могут отличаться от установленных нормами значений, предсказать их величину можно лишь с той или иной степенью вероятности.

Различают нагрузки нормативные и расчетные.

Нормативными называют максимальные нагрузки на конструкцию при ее нормальной эксплуатации –  $N^n$

Расчетные нагрузки, учитывающие изменчивость нормативной нагрузки определяют по формуле:

$$N^p = N^n \cdot \gamma_f,$$

где  $\gamma_f$  - коэффициент надежности по нагрузке.

Возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от их нормативных значений вследствие изменчивости нагрузок или отступлений от условий нормальной эксплуатации учитывается коэффициентами надежности по нагрузке. Значения коэффициентов  $\gamma_f$  зависят от вида нагрузок и могут быть различными для отдельных предельных состояний и ситуаций (Таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Коэффициенты надежности по нагрузке

| Наименование нагрузки                                                                                                                                                                                                       | Коэффициент<br><i>K<sub>f</sub></i> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Металлические конструкции                                                                                                                                                                                                   | 1,05                                |
| Бетонные (со средней плотностью свыше 1600 кг/м³), железобетонные, каменные, армокаменные, деревянные конструкции                                                                                                           | 1,1                                 |
| Бетонные (со средней плотностью 1600 кг/м³ и менее), изоляционные, выравнивающие и отделочные слои (плиты, металлы в рулонах, засыпки, стяжки и т.п.), выполняемые:<br>– в заводских условиях<br>– на строительной площадке | 1,2<br>1,3                          |
| Стационарное оборудование                                                                                                                                                                                                   | 1,05                                |
| Для крановых воздействий                                                                                                                                                                                                    | 1,1                                 |
| Ветровая нагрузка                                                                                                                                                                                                           | 1,4                                 |
| Снеговая нагрузка                                                                                                                                                                                                           | 1,4                                 |

**По характеру изменения во времени** различают статические и динамические нагрузки, а также переменные и многократно повторяющиеся нагрузки.

К статическим относятся нагрузки, интенсивность, местоположение и направление которых не зависят от времени или меняются столь медленно, что вызываемые ими силы инерции практически не влияют на работу конструкции. Для динамических нагрузок вводится коэффициент динамичности, равный 1,1 – 1,2.

**По продолжительности действия** различают постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые) нагрузки.

**Постоянными нагрузками** называются такие, которые действуют на конструкцию в течение всего периода эксплуатации здания (сооружения). К ним следует относить вес частей зданий и сооружений, в том числе несущих и ограждаю-

щих строительных конструкций; вес и давление грунтов (насыпей, засыпок); сохраняющиеся в конструкции усилия от предварительного напряжения.

**Временные нагрузки** подразделяются на длительные и кратковременные. В нормах проектирования [7] приведены величины некоторых нагрузок в двух вариантах: при полном и пониженном нормативных значениях. В зависимости от количественной характеристики одна и та же нагрузка, например, полезная на перекрытия жилых зданий (нагрузка от людей и мебели) может рассматриваться как кратковременная при полном нормативном значении, либо как длительная с пониженным нормативным значением (только от мебели).

**Длительными нагрузками** называют такие, которые воздействуют на конструкцию продолжительное время в течение многих месяцев и лет (но могут и отсутствовать).

К длительным нагрузкам следует относить: вес стационарного оборудования, вес жидкостей, газов и сыпучих тел, заполняющих оборудование, трубопроводы и емкости в процессе их эксплуатации; нагрузки на перекрытиях складских помещений, холодильников, зерно- и книгохранилищ, архивов, библиотек и подобных зданий и помещений; вес слоя воды на водонаполненных плоских покрытиях, вес отложений производственной пыли, если ее накопление не исключено соответствующими мероприятиями, а также часть временных нагрузок с пониженным нормативным значением (см. [7]).

**Кратковременными** называют нагрузки, действующие на конструкцию непродолжительное время.

К кратковременным нагрузкам относятся следующие: от подвижного подъемно-транспортного оборудования (кранов, тельферов и т.п.); от оборудования, возникающие в пуско-остановочном, переходном и испытательном режимах; от веса людей, мебели, деталей, ремонтных материалов и переносного оборудования; снеговые с полным нормативным значением; ветровые, гололедные, температурные климатические воздействия с полным нормативным значением.

**К особым нагрузкам**, являющимся разновидностью временных, следует относить: сейсмические и взрывные воздействия; а также вызываемые резкими нарушениями технологического процесса, временной неисправностью или поломкой оборудования; воздействия неравномерных деформаций основания, вызванных коренным изменением структуры грунта (при замачивании посадочных грунтов) или оседанием его в районах горных выработок и в карстовых.

Во время эксплуатации нагрузки действуют на здание в различных сочетаниях, которые бывают:

а) Основные сочетания нагрузок в которые входят постоянные, временно длительные и временно кратковременные.

б) Особые сочетания, состоящие из основных сочетаний и одной из особых нагрузок.

**Сочетания нагрузок.** Расчет конструкций по предельным состояниям первой и второй группы следует выполнять с учетом наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузок или соответствующих им усилий (для сечений, элементов, конструкций и их соединений, либо для всего здания и сооружения в целом).

В зависимости от учитываемого состава нагрузок следует различать:

– **основные сочетания нагрузок**, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных;

– **особые сочетания нагрузок**, состоящие из постоянных, длительных, кратковременных и одной из особых нагрузок и воздействий.

Одновременное появление наибольших значений нескольких нагрузок менее вероятно, чем появление наибольших значений одной, поэтому, чем больше нагрузок в сочетании при одновременном их действии, тем меньше вероятность появления их наибольших значений в этом сочетании.

Уменьшение вероятности одновременного превышения несколькими нагрузками их расчетных значений по сравнению с вероятностью превышения одной нагрузкой ее расчет-

ного значения учитывается коэффициентом сочетаний нагрузок  $y$ .

Постоянные нагрузки в любом сочетании принимаются с коэффициентом сочетания  $y = 1$ .

При расчете конструкций на основные сочетания, содержащие одну временную нагрузку (длительную или кратковременную) последняя учитывается без снижения, а при учете двух или более временных нагрузок расчетные значения длительных нагрузок умножаются на коэффициент сочетания  $y_1 = 0,95$ , кратковременных – на  $y_2 = 0,9$ .

При рассмотрении особых сочетаний расчетные значения временных нагрузок умножаются на коэффициенты сочетания, равные для длительных нагрузок  $y_1 = 0,95$ , для кратковременных –  $y_2 = 0,8$ , значение особой нагрузки принимается без снижения ( $y_3 = 1$ ).

### 1.5.3 Нормативные и расчетные сопротивления стали

Основной характеристикой сопротивления стали при силовых воздействиях является нормативное сопротивление  $R_n$ , которое получают после испытаний на одноосное растяжение большого числа стальных образцов и дальнейшей статистической обработкой результатов испытаний.

Для металлических конструкций характерно использование двух основных видов стали- мягкой и твердой; где мягкие стали это стали обычной и повышенной прочности с физическим пределом текучести  $\sigma_T \leq 390 \text{ МПа}$  и имеющим диаграмму растяжения с ярко выраженной площадкой текучести.

Твердые стали при  $\sigma_T > 390 \text{ МПа}$  не имеют площадку текучести на диаграмме растяжения.

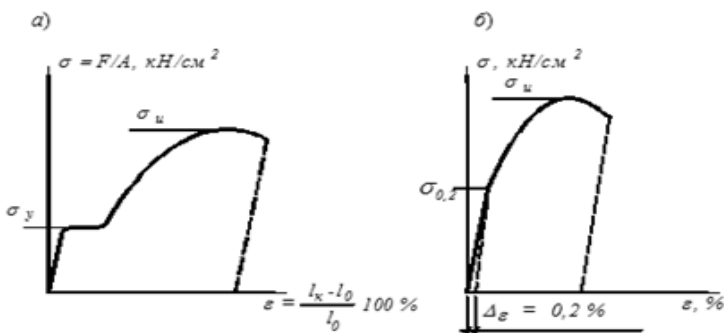


Рисунок 1.8 – Диаграммы растяжения образцов из сталей:

а) малоуглеродистой; б) низколегированной

Для мягких сталей за нормативное сопротивление принимают прочностную характеристику- физический предел текучести, т.е.  $R_H = \sigma_T$  для твердых сталей за нормативное сопротивление принимают прочностную характеристику- предел прочности или временное сопротивление на разрыв.

Временное сопротивление – предельная сопротивляемость материала разрушению,

Предел текучести – нормальное напряжение, практически постоянное, при котором происходит текучесть материала (деформирование при постоянном напряжении). Горизонтальный участок диаграммы, называемый площадкой текучести, у малоуглеродистых сталей находится в пределах относительных удлинений от  $e = 0,2$  до  $e = 2,5\%$ .

Для сталей, не имеющих площадки текучести (низколегированные стали), вводится понятие условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$ , величина которого соответствует напряжению, при котором остаточная деформация достигает  $\Delta e = 0,2\%$  (рисунок 1.8, б).

За предельное сопротивление сталей принимают предел текучести или условный предел текучести, так как при дальнейшем росте нагрузки развиваются чрезмерные пластические деформации и недопустимо большие перемещения конструк-

ций. В тех случаях, когда допускается работа конструкции при развитии значительных пластических деформаций (например, трубопроводы, находящиеся в земле), за предельное сопротивление стали может быть принято временное сопротивление.

Механические свойства материалов изменчивы (имеют разброс своих значений при испытании стандартных образцов), поэтому государственными стандартами и техническими условиями установлены гарантированные пределы их изменения.

Основными характеристиками сопротивления материалов силовым воздействиям являются нормативные сопротивления по пределу текучести  $R_{yn}$  и по временному сопротивлению  $R_{un}$ .

За нормативные сопротивления стали (их два  $R_{yn}$  и  $R_{un}$ ) растяжению, сжатию и изгибу принимают соответственно наименьшие значения предела текучести и временного сопротивления.

Для расчетов используют расчетные сопротивления стали, которые получают и нормативного сопротивления, т.е.

$$R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m} \quad \text{и} \quad R_u = \frac{R_{un}}{\gamma_m}.$$

Возможные отклонения прочностных и других характеристик материалов в неблагоприятную сторону от их нормативных значений учитываются коэффициентами надежности по материалу  $\gamma_m$ .

Для всех сталей (по ГОСТ) (кроме С590 и С590К)  $\gamma_m = 1,025$ ; для сталей С590 и С590К  $\gamma_m = 1,05$ .

Основной расчетной характеристикой стали является расчетное сопротивление, значение которого получается делением нормативного сопротивления на коэффициент надежности по материалу:

- по пределу текучести  $R_y = R_{yn}/\gamma_m$ ;
- по временному сопротивлению  $R_u = R_{un}/\gamma_m$ .

Расчетные сопротивления стали зависят от напряженного состояния конструкции, отсюда различают следующие расчетные сопротивления стали.

Растяжение, сжатие, изгиб:

$$- R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m} - \text{по пределу текучести};$$

$$- R_u = \frac{R_{un}}{\gamma_m} - \text{по временному сопротивлению}.$$

$$\text{Сдвиг (срез)} \quad R_s = 0.58 \frac{R_{yn}}{\gamma_m}.$$

$$\text{Смятие торцевой поверхности} \quad R_p = \frac{R_{un}}{\gamma_m}.$$

Все расчетные сопротивления при расчетах умножаются на коэффициент условия работы  $\gamma_c$ , учитывающий неучтенные факторы (смещение эксцентриситета, отклонение от прямолинейности сжатых элементов и т.д.) (Таблица 1.3).

Таблица 1.3- Коэффициенты условий работы

| Элементы конструкций                                                                                                                                                                                     | Коэффициенты условий работы $\gamma_c$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Сжатые основные элементы (кроме опорных) решетки составного таврового сечения из уголков сварных ферм покрытий и перекрытий (например, стропильных и аналогичных им ферм) при гибкости $\lambda \geq 60$ | 0,8                                    |
| Сплошные балки при расчетах на общую устойчивость при $\varphi_b < 1,0$                                                                                                                                  | 0,95                                   |

Продолжение таблицы 1.3

|                                                                                                                                                                                                                                                       |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Элементы стержневых конструкций покрытий и перекрытий:                                                                                                                                                                                                |      |
| а) сжатые (за исключением замкнутых трубчатых сечений) при расчетах на устойчивость;                                                                                                                                                                  | 0,95 |
| б) растянутые в сварных конструкциях                                                                                                                                                                                                                  | 0,95 |
| Сплошные составные балки, колонны, а также стыковые накладки из стали с пределом текучести до 440 МПа, несущие статическую нагрузку и выполненные с помощью болтовых соединений (кроме соединений на высокопрочных болтах), при расчетах на прочность | 1,1  |
| Сечения прокатных и сварных элементов, а также накладок из стали с пределом текучести до 440 МПа в местах стыков, выполненных на болтах (кроме стыков на высокопрочных болтах), несущих статическую нагрузку, при расчетах на прочность:              |      |
| а) сплошных балок и колонн;                                                                                                                                                                                                                           | 1,1  |
| б) стержневых конструкций покрытий и перекрытий                                                                                                                                                                                                       | 1,05 |
| Сжатые элементы из одиночных уголков, прикрепляемые одной полкой (для неравнополочных уголков только меньшей полкой)                                                                                                                                  | 0,75 |

Примечания: 1. Коэффициенты условий работы  $\gamma_c < 1$  при расчете одновременно учитывать не следует.

2. Коэффициенты условий работы, приведенные в поз.1; 2; 3, а; 4, 5, а также в поз. 3, б (кроме стыковых сварных соединений), при расчете соединений рассматриваемых элементов учитывать не следует.

3. В случаях, не оговоренных в настоящих нормах, в формулах следует принимать  $\gamma_c = 1$ .

В зависимости от класса ответственности зданий, расчетные сопротивления умножаются на коэффициент надежности по назначению.

Для учета ответственности зданий и сооружений, характеризваемой экономическими, социальными и экологическими последствиями их отказов, устанавливается три уровня: I – повышенный, II – нормальный, III – пониженный.

Повышенный уровень ответственности следует принимать для зданий и сооружений, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям (резервуары для нефти и нефтепродуктов вместимостью 10000 м<sup>3</sup> и более, магистральные трубопроводы, производственные здания с пролетами 100 м и более, сооружения связи высотой 100 м и более, а также уникальные здания и сооружения).

Нормальный уровень ответственности следует принимать для зданий и сооружений массового строительства (жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные здания и сооружения).

Пониженный уровень ответственности следует принимать для сооружений сезонного или вспомогательного назначения (парники, теплицы, летние павильоны, небольшие склады и подобные сооружения).

При расчете несущих конструкций и оснований следует учитывать коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n$ , принимаемый равным: для I уровня ответственности более 0,95, но не более 1,2; II уровня – 0,95; III уровня – менее 0,95, но не менее 0,8.

## 1.6 Сортамент. Общая характеристика сортамента

В строительных конструкциях сталь применяют в виде прокатных изделий, получаемых с металлургических заводов и имеющих различную форму поперечного сечения (профиль). Классификация профилей представлен на рисунке 1.9. Для стальных конструкций используют листовую и профильную сталь. Профильную сталь разделяют на сортовую (круг, квадрат, полоса), фасонную (уголки, двутавры, швеллеры, и другие фасонные профили), трубы. Кроме того, широко применяют вторичные профили: сварные, получаемые сваркой

полос или листов, и гнутые, образованные холодной гибкой листов.

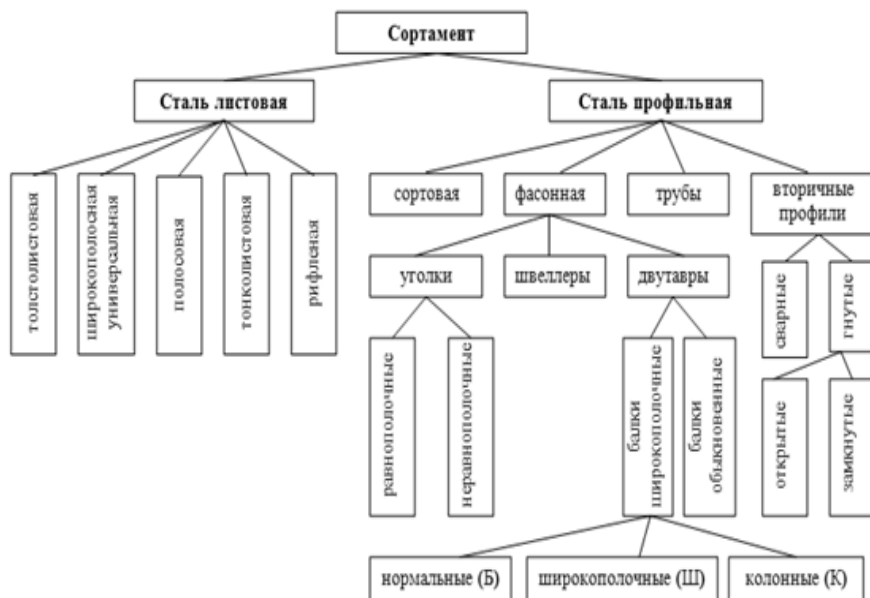


Рисунок 1.9 – Основные профили сортамента

Сортаментом называется перечень (каталог) прокатных профилей с указанием их формы, геометрических характеристик, массы единицы длины. Сортамент оформляется в виде государственных стандартов (ГОСТов) и технических условий (ТУ).

Форма профилей сортамента должна отвечать ряду требований: простоте и технологичности изготовления, универсальности и удобству при компоновке сечений, рациональному распределению материала по сечению.

Отношение геометрических характеристик сечения (например, площади) данного профиля к тем же характери-

стикам ближайшего меньшего профиля называется коэффициентом градации. Чем чаще градации размеров одного вида профиля, тем ближе сечение к требуемому по расчету, т.е. экономичнее. С другой стороны, применение при проектировании большого разнообразия типоразмеров профилей затрудняет комплектацию заказа (поставки малыми партиями), увеличивает объем работы на заводах металлоконструкций по сортировке, складированию, транспортировке, правке профилей и т.п., а также осложняет работу металлургических предприятий (дополнительные затраты и время на переналадку прокатных станков).

По сравнению со сварными и гнутыми профилями, для образования которых требуется дополнительная операция (изготовления профиля из прокатного листа), наиболее дешевыми являются прокатные профили, непосредственно поступающие с металлургического завода для изготовления металлоконструкций.

### 1.6.1 Сталь листовая

Листовую сталь, применяемую в строительстве, классифицируют нижеследующим образом:

*Сталь толстолистовая* (ГОСТ 19903-74). Сортамент этой стали включает листы толщиной от 4 до 160 мм, шириной от 600 до 3800 мм. Листовая горячекатаная сталь поставляется в листах длиной 6 – 12 м или в рулонах толщиной от 1,2 до 12 мм и шириной от 500 до 2200 мм. В расчетных строительных конструкциях толщину листовой стали рекомендуется применять не более 40 мм и не менее 6 мм с градацией до 22 мм через 2 мм.

Толстолистовую сталь используют в листовых конструкциях и в сплошностенчатых системах (балках, колоннах, рамах и т.п.)

*Сталь широкополосная, универсальная* (ГОСТ 8200-70) благодаря прокату между четырьмя валками имеет ровные

края. Толщина такой стали от 6 до 60 мм, ширина от 200 до 1050 мм и длина от 5 до 12 м (см. Таблица 3.9). Применение универсальной стали уменьшает отходы и снижает трудоемкость изготовления конструкций, так как не требует резки и выравнивания кромок строжкой.

*Сталь полосовая* (ГОСТ 103-76 с изм.) имеет толщину от 4 до 60 мм при ширине до 22 мм (см. Таблица 3.7). Ее применяют для конструктивных деталей типа диафрагм и ребер жесткости, а также для изготовления гнутых профилей.

*Сталь тонколистовая* толщиной до 4 мм прокатывается холодным и горячим способом. Холоднокатаная сталь (ГОСТ 19904-74, с изм.) значительно дороже горячекатаной (ГОСТ 19903-70, с изм.).

Тонколистовую сталь применяют при изготовлении гнутых и штампованных тонкостенных профилей, для кровельных покрытий и т.п. Из холоднокатаной оцинкованной рулонированной стали изготавливают профилированные настилы.

*Рифленая сталь* (ГОСТ 8568-77) толщиной от 2,5 мм до 8 мм с ромбическими или чечевицеобразными выступами, препятствующими скольжению при ходьбе, используется для настилов площадок.

## 1.6.2 Уголки

Прокатывают двух типов: *равнополочные* (ГОСТ 8509-93) и *неравнополочные* (ГОСТ 8510-86). Уголки применяются в качестве самостоятельных сечений, связывающих элементов и конструктивных деталей (опорные столики, ребра жесткости и т.п.).

Полки уголков имеют параллельные грани, что облегчает конструирование: прикрепление и стыкование их. В большинстве случаев (особенно для элементов, работающих на осевое сжатие) целесообразнее применять уголки с меньшей толщиной полок. Чем тоньше полки уголков, тем больше (при одинаковой площади сечения) радиус инерции  $i$ , от которого за-

висит несущая способность элемента, рассчитываемого на устойчивость.

Уголки находят широкое применение в легких решетчатых конструкциях, прежде всего в фермах. Сечения элементов решетчатых конструкций обычно komponуются в симметричные сечения из двух или четырех уголков.

В несущих конструкциях в качестве минимальных профилей принимают уголки  $\angle 50'50'4$  и  $\angle 63'40'4$ . Максимальные профили уголков  $\angle 250'250'30$  и  $\angle 250'100'20$ .

Длина уголков, зависящая от условий прокатки и транспортирования, принята: для малых профилей 6 – 9 м, для крупных – 9 – 12 м.

### 1.6.3 Швеллеры

Швеллеры прокатываются двух типов: с *уклоном внутренних граней* полок (уклон затрудняет конструирование) и с *параллельными гранями* полок с буквой *П* в обозначении.

Геометрические характеристики швеллеров определяются его номером, который соответствует высоте швеллера (в см).

Сортамент (ГОСТ 8240-93) включает швеллеры от №5 до №40. Заказные длины швеллеров 6, 9 и 12 м, а по согласованию – до 18 м.

Швеллеры используют в качестве элементов, работающих на изгиб (балки рабочих площадок, прогоны покрытий зданий и т.п.). В конструкциях, работающих на осевые силы, швеллеры применяют в основном в виде составных сечений из двух элементов, соединенных планками или решеткой (сквозные колонны, пояса тяжелых ферм), а также для коробчатых сечений со сваркой полок сплошными швами.

### 1.6.4 Двутавры

Двутавр – наиболее рациональный профиль для элементов, работающих на изгиб в плоскости наибольшей жесткости,

поскольку он имеет по сравнению с другими профилями наибольший удельный момент сопротивления, равный радиусу ядра сечения  $\rho = W/A$  ( $W$  – момент сопротивления;  $A$  – площадь сечения). Двутавровый профиль также находит применение в конструкциях, работающих на сжатие в качестве самостоятельного или составного сечения (центрально- и внецентренно-сжатые колонны).

В зависимости от геометрических параметров металлургическими заводами выпускаются несколько типов двутавров, которым соответствуют определенные области применения.

*Балки двутавровые обыкновенные* (ГОСТ 8239-89) имеют уклон внутренних граней полок и обозначаются номером, соответствующим их высоте. В сортамент входят профили от № 10 до № 60. По условиям технологии прокатки у большинства двутавров стенки значительно толще, чем это требуется по условию их устойчивости. Относительно небольшая ширина полок приводит к тому, что жесткости балки относительно главных осей значительно отличаются. Поэтому для обеспечения устойчивости балка должна иметь промежуточное закрепление.

*Балки двутавровые широкополочные* (ГОСТ 2620-83, СТО АСЧМ 20-93) имеют параллельные грани полок. Широкополочные двутавры прокатываются трех типов:

- нормальные (Б);
- широкополочные (Ш);
- колонные (К).

Высота балочных профилей (Б) и (Ш) достигает 1000 мм при отношении ширины полок  $b$  к высоте  $h$  от  $b/h = 0,75$  (при малых высотах) до  $b/h = 0,3$ . Колонные профили (К) имеют отношение ширины полос к высоте больше, чем балочные (приближающиеся к единице), что увеличивает устойчивость элемента в плоскости наименьшей жесткости и, как правило, не требуют дополнительных закреплений. Широкополочные

двутавры могут применяться в виде самостоятельных элементов (балки, колонны, стержни тяжелых ферм).

Заказные длины двутавров до 12 м, по согласованию – до 18 м.

*Тавровые профили* не прокатываются металлургическими предприятиями, их получают путем продольного роспуска широкополочных двутавров. Они могут быть использованы в качестве самостоятельных элементов поясов ферм.

Для путей подвесных кранов и тельферов применяют специальные двутавры 24М, 30М, 36М, 45М. В двутаврах с индексом М для предотвращения отгиба полок их толщину делают больше, чем у обычных.

### 1.6.5 Трубы

Для строительных металлических конструкций применяют трубы круглого (горячекатаные – ГОСТ 8732-78 с изм. и электросварные – ГОСТ 10704-91), квадратного и прямоугольного сечений (ГОСТ 25577-83 с изм., а также различные ТУ отдельных заводов). Для решетчатых стальных конструкций используют в основном электросварные круглые трубы диаметром от 40 мм до 630 мм с толщиной стенки не менее 2,5 мм.

Квадратные и прямоугольные трубы относятся к вторичным замкнутым профилям, изготавливаются на профилегибочном стане с последующей заваркой замыкающего шва.

Сортамент электросварных труб предусматривает профили квадратного сечения размером от 80 до 180 мм и прямоугольного сечения размером от 60×100 до 160×200 мм с толщиной профилей от 3 до 8 мм. Эти трубы применяются в строительных конструкциях под легкую кровлю, в фермах, связях, фахверках стен, переплетах, витражах и т.п.

В трубах материал распределен на максимальном удалении от центра тяжести (имеет наибольший удельный радиус инерции) и их применение наиболее рационально в элементах,

работающих на осевое сжатие. Кроме того, обтекаемость трубчатого сечения позволяет уменьшить ветровую нагрузку на башенные сооружения, не способствует скапливанию влаги, пыли и т.п. Высокая коррозионная стойкость труб делает сооружение более долговечным, при этом необходимо обеспечить герметичность внутренней полости.

### 1.6.6 Вторичные профили

Использование автоматической сварки позволяет изготовить тонкостенные двутавры из листового проката с более выгодным распределением материала по сечению. Сварные двутавры имеют свой сортамент.

Холодногнутые профили самой различной формы изготовляют из листа или полосы толщиной от 1 до 8 мм. Наиболее употребительны равнополочные и неравнополочные уголки, швеллеры, С – образные, Z – образные.

Особенностью холодногнутых профилей является тонкостенность сечений, что связано с возможной потерей местной устойчивости стенок раньше общей потери устойчивости стержня. Для повышения местной устойчивости в полках отдельных гнутых профилей устраивают отгибы.

Гнутые профили применяют в слабонагруженных длинных стержнях связей, элементах фахверка, раскосах легких ферм и других элементах, сечение которых подбирается по предельной гибкости.

Одним из видов гнутых профилей является профилированный настил, поставляемый по ГОСТ 24045-94 и ТУ отдельных заводов.

Для изготовления профилированного настила применяют листы из оцинкованной стали толщиной от 0,6 до 1 мм.

Наиболее распространенные типы настила для покрытий Н 57-750-0,7

и Н 75-750-0,8 (первая цифра обозначает высоту волны, вторая – ширину настила, третья – толщину листа).

Профнастил нашел широкое применение в несущих элементах кровли и стеновых ограждениях.

### 1.6.7 Различные профили и материалы, применяемые в строительных металлических конструкциях

Кроме указанных выше для строительных металлических конструкций применяют также другие профили и изделия: профили для фонарных и оконных переплетов (ГОСТ 7511-73), рельсы (ГОСТ 4121-76 с изм.), арматурные стержни, стальные канаты и высокопрочную проволоку для висячих и предварительно напряженных конструкций.

Профили из алюминиевых сплавов

Профили из алюминиевых сплавов общего назначения (уголки, двутавры, швеллеры, тавры и др.) и специальные изготавливают двумя способами: прессованием и гибкой.

Прессованные профили подразделяют на профили общего назначения и специальные. Профили общего назначения поставляют по ГОСТ 22233-93 «Профили прессованные из алюминиевых сплавов для ограждающих строительных конструкций. Общие технические условия» и ГОСТ 8617-81\* «Профили прессованные из алюминиевых сплавов. Технические условия».

## **2 СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Наиболее распространенными видами соединений металлических строительных конструкций являются сварные. В настоящее время более 95% стальных конструкций выполняется с соединениями на сварке при изготовлении и более 60% на монтаже. Сварка упрощает конструктивную форму соединения, дает экономию металла, позволяет применять высокопроизводительные механизированные способы, что значительно уменьшает трудоемкость изготовления конструкций. Однако повышенная концентрация напряжений, обусловленная наличием в швах дефектов (подрезы, непровары, поры, шлаковые включения и т.п.), механическая неоднородность сварных швов и возникающие при сварке внутренние остаточные напряжения в соединении усложняют его работу, а в ряде случаев при действии динамических нагрузок и при низких температурах способствуют хрупкому разрушению.

Кроме сварных соединений, в металлических конструкциях применяются болтовые. Относительно малая трудоемкость и простота технологии выполнения, не требующая монтажников высокой квалификации, надежность в работе способствуют их широкому распространению в строительстве при монтаже металлических конструкций. В последнее время болтовые соединения находят применение в основных соединениях при изготовлении конструкций в заводских условиях. Однако болтовые соединения металлоемки по сравнению со сварными, так как имеют стыковые накладки и ослабляют сечения элементов отверстиями для болтов.

### **2.1 Сварные соединения**

В современном строительстве для соединения элементов получила распространение главным образом электродуговая

сварка. Ограниченное применение находят контактная сварка, газовая, газопрессовая, сварка трением, холодная, ультразвуковая.

### 2.1.1 Виды сварных соединений

По конструкции различают следующие сварные соединения: *стыковые*, нахлесточные, тавровые, угловые, комбинированные (Таблица 2.1).

*Стыковыми* называются соединения, в которых элементы соединяются торцами или кромками и один элемент является продолжением другого. Место их соединения (зазор) заполняется сварным швом. Стыковые соединения наиболее рациональны и надежны, так как имеют наименьшую концентрацию напряжений при передаче усилий, отличаются экономичностью и удобны для контроля.

Толщина свариваемых элементов в соединениях такого вида почти не ограничена. Стыковое соединение листового металла может быть сделано прямым или косым швом. Стыковые соединения профильного металла применяются реже, так как затруднена обработка их кромок под сварку.

Сварные стыковые соединения листовых деталей, как правило, проектируют прямыми с полным проваром и с применением выводных планок. В монтажных условиях допускается односторонняя сварка с подваркой корня и сварка на остающейся стальной подкладке.

При соединении стальных листов различной толщины (или ширины) их размеры в месте стыка должны быть одинаковыми во избежание резкого изменения сечения. Для этого в более толстом (или широком) элементе устраивается скос с уклоном 1:5 с одной или двух сторон до толщины тонкой детали (рисунок 2.1).

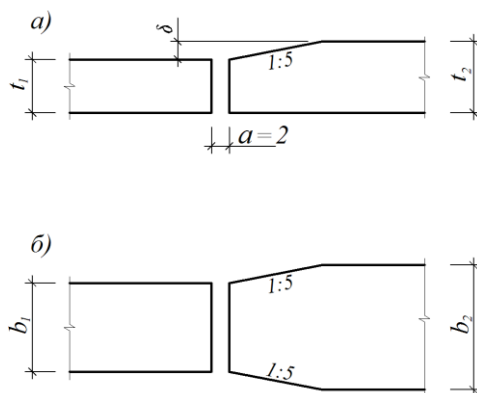


Рисунок 2.1 Соединение элементов:  
 $a$  – при разной толщине;  $b$  – при разной ширине

Длиной скоса листа регулируют плавный переход от толстой свариваемой детали к более тонкой, кроме того, длиной скоса устраняют концентраторы напряжений в сварных конструкциях. Стыки без скосов по толщине допускаются в деталях из углеродистой или низколегированной сталей с пределом текучести до 400 МПа при разнице толщин  $\delta = (t_2 - t_1)$ , не превышающей значений, указанных в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Допустимая наибольшая разность толщин деталей, свариваемых встык без скоса кромок

| Толщина тонкой детали $t_1$ , мм | Разность толщин деталей $\delta$ , мм |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1...4                            | 1                                     |
| 5...20                           | 2                                     |
| 21...30                          | 3                                     |
| Св. 30                           | 4                                     |

*Нахлесточные* соединениями называются такие, в которых поверхности свариваемых элементов частично находят друг на друга. Разновидностью соединений внахлестку являются соединения с накладками. Их применяют с одной или двумя накладками. Накладки служат для соединения частей

изделия. Соединения внахлестку выполняются угловыми швами. Они отличаются простотой обработки элементов под сварку, обеспечивают возможность подгонки размеров за счет регулирования величины нахлестки, но по расходу металла менее экономичны, чем стыковые. Недостатками нахлесточных соединений являются изменение направления силового потока и возможность образования щели между элементами. Неравномерное распределение силового потока вызывает концентрацию напряжений, такие соединения не рекомендуется применять в конструкциях, воспринимающих переменные или динамические нагрузки; проникновение влаги в щель между соединяемыми элементами может привести к щелевой коррозии и разрушению сварных швов за счет распирающего воздействия продуктов коррозии.

*Комбинированными* называются соединения, в которых имеется несколько разных видов сварных швов. Это соединения, выполненные сварными швами различной ориентации относительно линии действия внешнего усилия (лобовыми и фланговыми). Другой тип комбинированного соединения представляет собой стыковой шов, дополнительно усиленный накладками. Необходимость выполнения такого соединения может появиться для обеспечения равнопрочности стыка и соединяемых элементов при недостаточной прочности стыкового шва и невозможности применить физические методы контроля качества сварного шва.

*Тавровое* соединение представляет собой крепление торца одного элемента к поверхности другого, как правило, под прямым углом. При *угловом* соединении впритык крепятся торцы элементов, находящихся во взаимно перпендикулярных плоскостях. Тавровые и угловые соединения отличаются простотой выполнения, высокой прочностью и экономичностью. При воздействии статических нагрузок тавровые соединения выполняют, как правило, с предусмотренным конструктивным непроваром. Обеспечение полного проплавления тавровых соединений усложняет процесс сварки, удорожает изго-

товление конструкции, поэтому может применяться только в обоснованных случаях, например, при проектировании поясных швов балок под подвижную нагрузку, так как непровар в корне шва приводит к заметному снижению усталостной прочности.

Соединения впритык применяются при изготовлении сварных стержней (двутавров, швеллеров) и других конструктивных элементов.

По месту выполнения соединения разделяются на заводские и монтажные. К заводским относятся соединения, выполняемые при изготовлении металлоконструкций на специализированных заводах, к монтажным – соединения, выполняемые при монтажной сборке металлоконструкций на местах строительства зданий и сооружений.

## 2.1.2 Классификация сварных швов

При проектировании металлоконструкций типы сварных швов назначаются с учетом методов сварки, толщины свариваемых элементов, положения в пространстве и технологии сварки. Сварные швы классифицируются по назначению, конструктивному признаку, протяженности и внешней форме в зависимости от условий изготовления и эксплуатации сварных конструкций.

По назначению сварные швы делят на рабочие, предназначенные для восприятия и передачи расчетных усилий с одного элемента на другой, и связующие, предназначенные для соединения частей элементов конструкций в одно целое и принимаемые конструктивно с минимальным катетом угловых швов (для уменьшения влияния возможных непроваров), принимаемым в зависимости от толщины более толстого из свариваемых элементов (Таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Минимальные катеты сварных швов

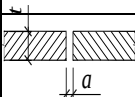
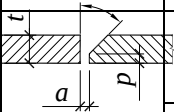
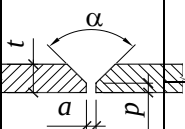
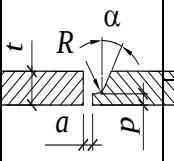
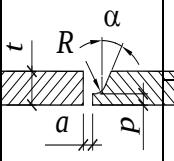
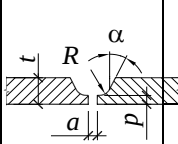
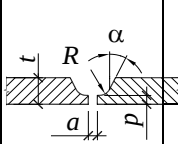
| Соединение                                                                                 | Сварка                                    | Предел<br>текуче-<br>сти ста-<br>ли, МПа | Минимальные катеты швов $k_{f,min}$ (мм) при<br>толщине более толстого из свариваемых<br>элементов $t$ , мм |      |       |       |         |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|---------|-------|-------|
|                                                                                            |                                           |                                          | 4-5                                                                                                         | 6-10 | 11-16 | 17-22 | 23...32 | 33-40 | 41-80 |
| Тавровое с<br>двухсторон-<br>ними угло-<br>выми шва-<br>ми; нахле-<br>сточное и<br>угловое | Ручная                                    | до 430                                   | 4                                                                                                           | 5    | 6     | 7     | 8       | 9     | 10    |
|                                                                                            |                                           | Св.430<br>до 530                         | 5                                                                                                           | 6    | 7     | 8     | 9       | 10    | 12    |
|                                                                                            | Автоматическая<br>и меха-<br>низированная | до 430                                   | 3                                                                                                           | 4    | 5     | 6     | 7       | 8     | 9     |
|                                                                                            |                                           | Св.430<br>до 530                         | 4                                                                                                           | 5    | 6     | 7     | 8       | 9     | 10    |
| Тавровое с<br>односторон-<br>ними угло-<br>выми швами                                      | Ручная                                    | до 380                                   | 5                                                                                                           | 6    | 7     | 8     | 9       | 10    | 12    |
|                                                                                            | Автоматическая<br>и меха-<br>низированная |                                          | 4                                                                                                           | 5    | 6     | 7     | 8       | 9     | 10    |

По конструктивному признаку швы разделяют на стыковые и угловые.

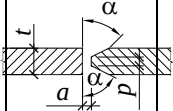
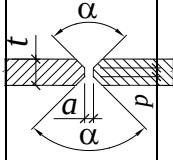
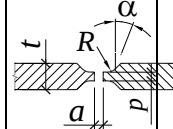
Стыковые швы наиболее рациональны, так как имеют наименьшую концентрацию напряжений, но требуют дополнительную разделку кромок, зависящую от толщины соединяемых элементов и способа сварки. Разделку кромок применяют в том случае, если односторонняя сварка не позволяет обеспечить полный провар шва в листах толщиной более 8...10 мм (Таблица 2.4).

Разделка кромок имеет технологическое назначение. Она позволяет глубже вводить электрод и оставлять между соединяемыми элементами зазор постоянного размера, обеспечивая хороший провар стыка по всей толщине сечения, создает условия для свободы сварочных деформаций (усадки), развивающихся при остывании швов, и не влияет на статическую прочность соединения.

Таблица 2.4 – Виды стыковых швов в элементах стальных конструкций

| Наименование шва по типу обработки кромок      | Эскиз кромок                                                                        | Характер выполнения шва | Автоматическая и механизированная сварка по ГОСТ 8713-79 |          |          |                | Ручная сварка по ГОСТ 5264-80 |           |          |                |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|----------|----------|----------------|-------------------------------|-----------|----------|----------------|
|                                                |                                                                                     |                         | размеры, мм                                              |          |          | $\alpha^\circ$ | размеры, мм                   |           |          | $\alpha^\circ$ |
|                                                |                                                                                     |                         | <i>t</i>                                                 | <i>a</i> | <i>p</i> |                | <i>t</i>                      | <i>a</i>  | <i>p</i> |                |
| 1                                              | 2                                                                                   | 3                       | 4                                                        | 5        | 6        | 7              | 8                             | 9         | 10       | 11             |
| Без скоса кромок                               |    | Д                       | 2–22                                                     | 0–3      | –        | –              | 2–12                          | 2         | –        | –              |
|                                                |                                                                                     | О                       | 2–12                                                     | 0–5      | –        | –              | 1–4                           | 0–2       | –        | –              |
| V-образный со скосом одной кромки              |    | Д                       | 14–20                                                    | 0        | 6        | 40             | 3–60                          | 2         | 1        | 45             |
|                                                |                                                                                     | О                       | 8–30                                                     | 2–5      | 1,5; 4   | 30; 40         |                               | 2–5       |          |                |
| V-образный со скосом двух кромок               |    | Д                       | 14–30                                                    | 0; 2     | 6; 2     | 50; 60         | 3–60                          | 2         | 1        | 50             |
|                                                |                                                                                     | О                       | 8–30                                                     | 0; 2–5   | 1,5–5    | 50             |                               | 2–5       |          |                |
| U-образный с криволинейным скосом одной кромки |  | Д                       | –                                                        | –        | –        | –              | 15–60                         | 2         | 2        | 18             |
|                                                |                                                                                     |                         |                                                          |          |          |                |                               | R = 8; 10 |          |                |
|                                                |  | О                       | 16–50                                                    | 2        | 3        | 20             | –                             | –         |          | –              |
|                                                |                                                                                     | R = 6                   |                                                          |          |          |                |                               |           |          |                |
| U-образный с криволинейным скосом двух кромок  |  | Д                       | 24–160                                                   | 0        | 6; 8     | 12–8           | 15–100                        | 2         | 2        | 12             |
|                                                |                                                                                     |                         |                                                          |          |          |                |                               | R = 8     |          |                |
|                                                |  | О                       | 16–60                                                    | 0        | 1        | 12; 10         | –                             | –         |          | –              |

Продолжение таблицы 2.4

| 1                                                                   | 2                                                                                 | 3 | 4      | 5             | 6       | 7      | 8      | 9          | 10 | 11 |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---|--------|---------------|---------|--------|--------|------------|----|----|
| К-образный с двумя симметричными скосами одной кромки               |  | Д | 20–30  | 0             | 6       | 45     | 8–100  | 2          | 1  | 45 |
| Х-образный с двумя симметричными скосами двух кромок                |  | Д | 18–60  | 0; 2          | 8; 6; 2 | 60; 50 | 8–120  | 2          | 1  | 50 |
| Х-образный с двумя симметричными криволинейными скосами двух кромок |  | Д | 50–160 | 0<br>R = 6; 8 | 10      | 12; 10 | 30–175 | 2<br>R = 8 | 2  | 12 |

Обозначения: О – односторонний шов; Д – двухсторонний шов;  $t$  – толщина соединяемых элементов;  $a$  – зазор;  $p$  – притупление;  $R$  – радиус закругления;  $\alpha$  – угол раскрытия шва.

По форме разделки кромок свариваемых элементов швы подразделяются: без разделки; V-образные; U-образные; Х-образные; К-образные (см. Таблица 2.4). Для V- и U-образных швов, свариваемых с одной стороны, обязательна подварка корня шва с другой стороны для устранения возможных непроваров.

Для сварочных соединений при толщине деталей более 30 мм применяют, главным образом, швы с криволинейным скосом двух кромок. Некоторое повышение трудоемкости обработки кромок в этом случае компенсируется значительным уменьшением объемов сварочных работ и количеством наплавленного металла.

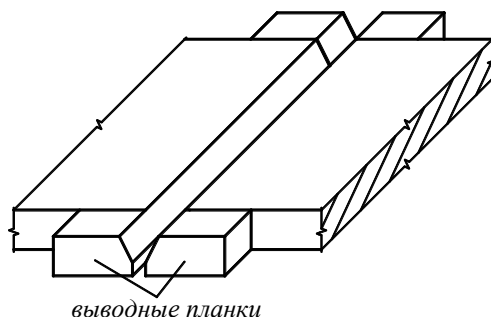


Рисунок 2.2 Вывод начала и конца шва на технологические планки

Притупление кромок производится для обеспечения устойчивого ведения процесса сварки при выполнении корневого слоя шва. Отсутствие притупления способствует образованию прожогов при сварке. Правильно установленный перед сваркой зазор позволяет обеспечить полный провар по сечению соединения при наложении первого (корневого) слоя шва.

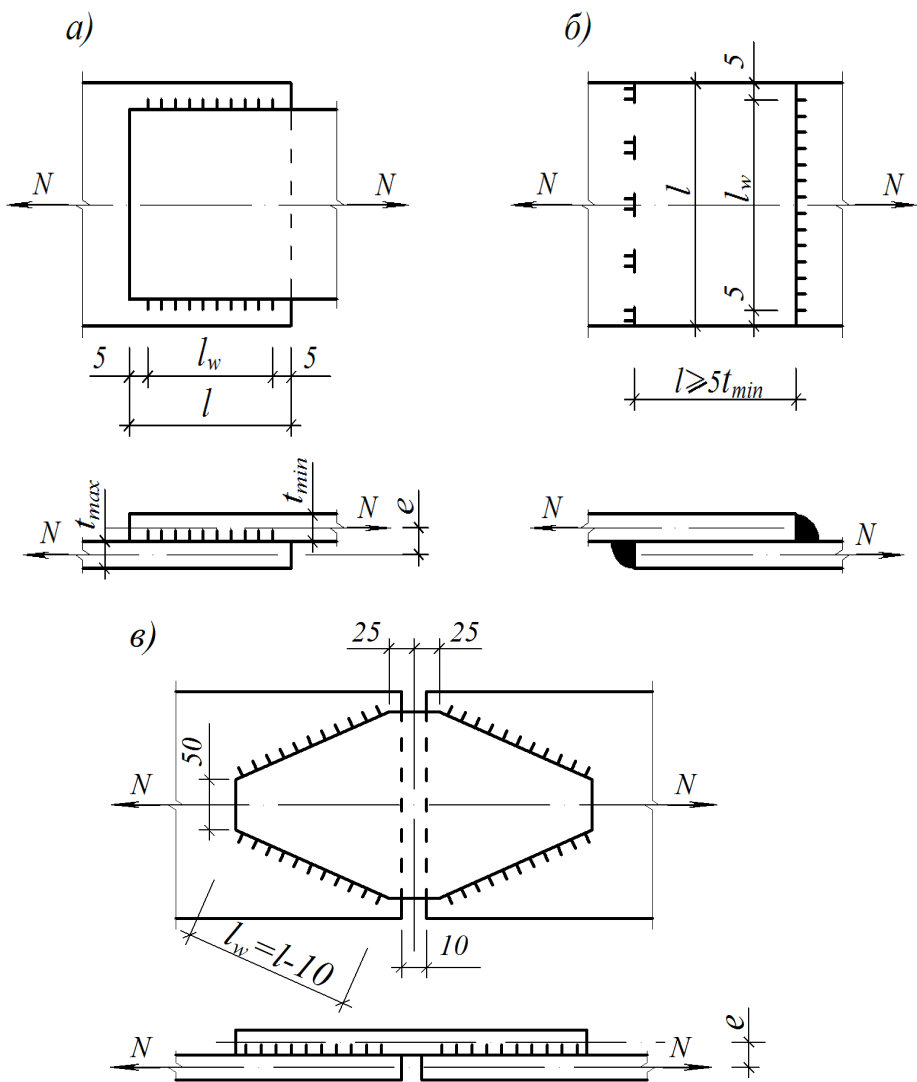


Рисунок. 2.3 Типы сварных швов в нахлесточных соединениях:

$a$  – фланговые;  $б$  – лобовые;  $в$  – косые

При автоматической сварке принимают меньшие размеры разделки кромок вследствие большего проплавления соединяемых элементов.

Для устранения низкого качества шва в зонах зажигания (непровар) и прерывания (кратер) сварочной дуги применяют выводные технологические планки, позволяющие вывести начало и конец шва за пределы рабочего сечения шва (см. рисунок 2.2). После сварки технологические планки срезают, а торцы шва зачищают наждачным кругом. Выводные планки выполняют с той же разделкой кромок, что и для свариваемых элементов.

Угловые швы наваривают в угол, образованный элементами, расположенными в разных плоскостях (рисунок 2.3).

В зависимости от ориентации углового шва относительно линии действия внешнего усилия швы подразделяются на фланговые, расположенные параллельно усилию, лобовые или торцевые, расположенные перпендикулярно усилию, и косые, расположенные под углом к усилию.

По положению в пространстве при выполнении сварки швы подразделяются на виды:

- нижние, выполняемые на горизонтальной поверхности или при небольшом уклоне;
- вертикальные, выполняемые на вертикальной поверхности (или несколько наклонной) снизу вверх или сверху вниз;
- горизонтальные на вертикальной плоскости;
- потолочные, выполняемые сварщиком под изделием, как бы по потолку;
- «в лодочку», выполняемые по горизонтали в угол, образованный двумя наклонными плоскостями соединяемых элементов (рисунок 2.4).

Сварка нижних швов наиболее удобна (расплавленный металл под действием собственного веса переходит в шов, не вытекая из ванны, а шлак и газы легко всплывают на поверхность), легко поддается механизации, дает лучшее качество шва, поэтому конструктивное решение должно предусматри-

вать возможность выполнения большинства швов в нижнем положении. В заводских условиях благодаря возможности кантовки элементов в процессе изготовления все швы желательно выполнять в нижнем положении (стыковые) и «в лодочку» (угловые).

По протяженности сварные швы бывают непрерывными (сплошными) и прерывистыми (шпоночными) (рисунок 2.5). Прерывистые швы могут быть расположены в виде цепочки или в шахматном порядке. Длина участка прерывистого шва  $l = 50 \dots 100$  мм. Расстояние  $t$  – шаг прерывистого шва, обычно равный  $2l$ . Применение прерывистых швов из-за концентрации напряжений по концам шва и пониженной коррозионной стойкости нежелательно. Основное преимущество прерывистых швов – ускорение ручной сварки благодаря уменьшению объема наплавленного металла – не может компенсировать отмеченных недостатков. Эти швы применяются в качестве связующих, а также для сварки лестниц, настилов площадок и прочих слабонагруженных конструкций и элементов с напряжением менее  $0,4R$ .

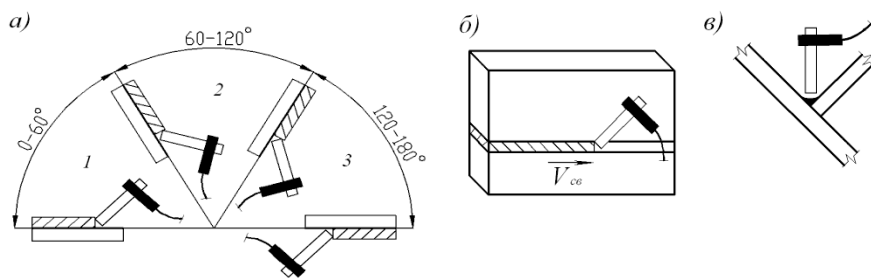


Рисунок. 2.4. Положение сварных швов в пространстве:  
 а – расположение: нижнее (1), вертикальное (2), потолочное (3);  
 б – горизонтальное на вертикальной плоскости; в – «в лодочку»

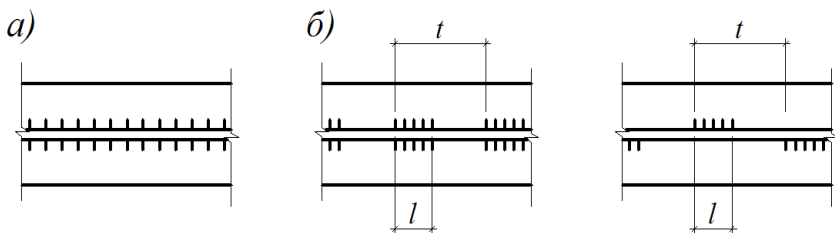


Рисунок 2.5 Сварные швы по протяженности:

*a* – сплошные; *б* – прерывистые

По количеству слоев, наложенных при сварке, швы могут быть однослойными и многослойными. Первые выполняются одним проходом сварочной дуги, вторые несколькими.

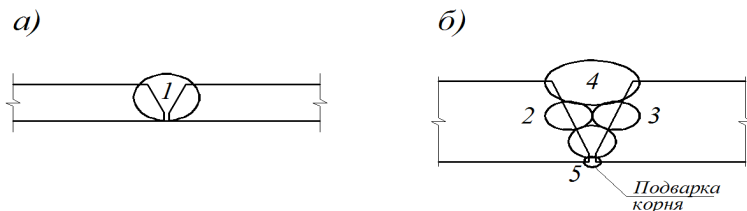


Рисунок 2.6 Сварные швы по количеству слоев:

*a* – однослойные; *б* – многослойные

При ручной сварке за один проход может быть выполнен шов с катетом  $k_f \leq 8$  мм. Более толстые швы получаются при многослойной сварке, катет которых  $k_f > 20$  мм применять не рекомендуется, так как они имеют большие внутренние сварочные напряжения.

По внешней форме сварные швы делятся на нормальные (с плоской поверхностью), выпуклые (усиленные) и вогнутые (рисунок 2.7).

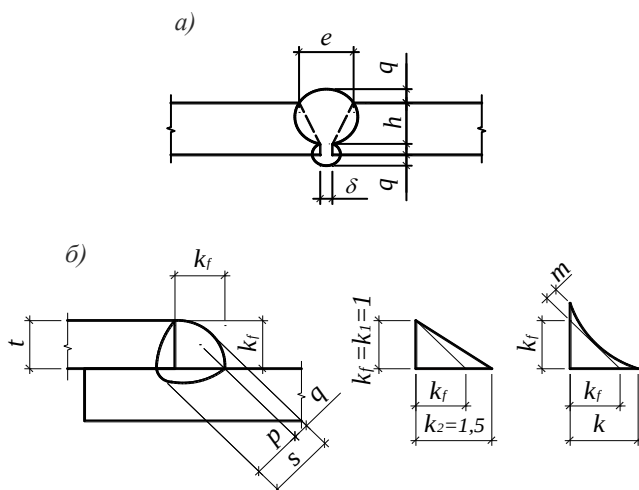


Рисунок 2.7 Форма и геометрические размеры сварного шва:

$a$  – стыковые;  $б$  – угловые;  
 $t$  – толщина свариваемого металла;  $h$  – глубина провара;  $e$  – ширина шва;  
 $q$  – выпуклость шва (высота усиления);  $m$  – величина вогнутости;  $k$ ,  $k_1$  и  $k_2$  – катеты угловых швов;  $k_f$  – расчетный катет шва;  $p$  – расчетная высота углового шва;  $s = (p + q)$  – толщина углового шва;  $\delta$  – зазор

Выпуклые швы характерны для ручной сварки. К вогнутым угловым швам прибегают в целях повышения сопротивления сварных соединений усталости (вогнутость стыковых соединений является браком). Вогнутость и плоская поверхность швов достигаются регулировкой режима сварки или специальной механической обработкой.

Параметры режима сварки влияют на качество сварного соединения и определяют геометрические размеры и форму шва (рисунок 2.7). За расчетный катет шва  $k_f$  принимается меньший катет вписанного в сечение треугольника. Выпуклость (усиление) шва сварного соединения  $q$  и вогнутость  $m$  допускаются равными  $0,2k$ , но не более 3 мм.

Форма шва характеризуется:

- коэффициентом провара, т.е. отношением ширины шва к его толщине (лучшей формой провара считается такая, у которой ширина шва в 1,3...2 раза больше толщины шва);

- коэффициентом формы шва, т.е. отношением толщины шва к его усилению (для нормально сформированных швов коэффициент формы шва должен находиться в пределах от 6 до 12);

- долей основного металла в металле шва, т.е. отношением площади расплавленного основного металла к площади сечения всего шва.

Соотношение размеров катетов угловых швов принимается, как правило, 1:1. Для уменьшения концентрации напряжений при переходе силового потока с одного элемента на другой рекомендуются пологие швы с отношением катетов 1:1,5. При этом больший катет должен быть расположен вдоль передаваемого швом усилия, а за толщину шва принимается меньший катет. Плавный переход силового потока достигается также устройством швов вогнутой формы. Такая форма швов применяется в конструкциях, воспринимающих динамические и вибрационные нагрузки, а также возводимых в климатических районах  $I_2$ ,  $II_2$ ,  $III_2$  и  $I_1$  (расчетная температура воздуха  $-40^{\circ}\text{C} > t \geq -65^{\circ}\text{C}$ ), при обосновании расчетом на выносливость или на прочность с учетом хрупкого разрушения.

Швы с неравными катетами допускается применять в свариваемых элементах разной толщины, при этом катет, примыкающий к более тонкому листу, должен быть не более  $1,2 t_{\min}$ , а примыкающий к более толстому листу – не менее  $k_f, \min$  (см. таблицу 2.3).

Максимальный катет угловых швов в целях уменьшения возможности пережога свариваемых элементов, а также снижения усадочных напряжений и деформаций принимается  $k_{f,\max} \leq 1,2 t_{\min}$  ( $t_{\min}$  – толщина более тонкого из соединяемых элементов).

## 2.1.3 Расчет и конструирование сварных соединений

### 2.1.3.1 Стыковые соединения

Стыковое сварное соединение является наиболее простым и надежным. В стыковых швах при всех видах сварки плавлением концентрация напряжений имеет минимальные значения.

При действии на соединение статической нагрузки первоначальная концентрация напряжений в стыковом сварном шве не оказывает влияние на его прочность, так как из-за развития пластических деформаций происходит релаксация напряжений в точках концентрации. Поэтому расчет стыковых сварных соединений выполняют в предположении, что распределение напряжений в поперечном сечении сварного шва равномерно.

Расчет сварных стыковых соединений на центральное растяжение или сжатие производится по формуле

$$N / (t l_w) \leq R_{wy} \gamma_c, \quad (2.1)$$

где  $N$  – внешнее усилие, приложенное к соединению;

$t$  – расчетная толщина шва, равная толщине наиболее тонкого из соединяемых элементов (местное утолщение в виде валика сварного шва в расчет не принимается); в том случае, если невозможно обеспечить полный провар по толщине свариваемых элементов путем подварки корня шва, например, при односторонней сварке или использовании остающейся стальной подкладки, в формуле вместо  $t$  следует принимать  $0,7t$ ;

$l_w$  – расчетная длина шва, равная полной ширине соединяемых элементов за вычетом  $2t$ , учитывающих низкое качество шва в зонах зажигания (непровар) и прерывания (кратер) сва-

рочной дуги. При условии выполнения шва с применением выводных технологических планок, позволяющих вывести начало и конец шва за пределы рабочего сечения шва, расчетная длина принимается равной полной его длине (после сварки технологические планки срезаются, а торцы шва зачищаются наждачным кругом);

$R_{wy}$  – расчетное сопротивление сварного стыкового соединения, принимаемое по таблице 2.5;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 1.3.

Таблица 2.5 – Значения коэффициентов  $\beta_f$  и  $\beta_z$

| Сварка при диаметре сварочной проволоки $d$ , мм                                              | Положение шва                                               | Коэффициент | Значения коэффициентов $\beta_f$ и $\beta_z$ при катетах швов, мм |        |         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------|--------|---------|-----------|
|                                                                                               |                                                             |             | 3...8                                                             | 9...12 | 14...16 | $\geq 18$ |
| Автоматическая при $d = 3...5$                                                                | В лодочку                                                   | $\beta_f$   | 1,1                                                               |        |         | 0,7       |
|                                                                                               |                                                             | $\beta_z$   | 1,15                                                              |        |         | 1,0       |
|                                                                                               | Нижнее                                                      | $\beta_f$   | 1,1                                                               | 0,9    |         | 0,7       |
|                                                                                               |                                                             | $\beta_z$   | 1,15                                                              | 1,05   |         | 1,0       |
| Автоматическая и механизированная при $d = 1,4...2$                                           | В лодочку                                                   | $\beta_f$   | 0,9                                                               |        | 0,8     | 0,7       |
|                                                                                               |                                                             | $\beta_z$   | 1,05                                                              |        | 1,0     |           |
|                                                                                               | Нижнее, горизонтальное, вертикальное                        | $\beta_f$   | 0,9                                                               | 0,8    | 0,7     |           |
|                                                                                               |                                                             | $\beta_z$   | 1,05                                                              | 1,0    |         |           |
| Ручная; механизированная проволокой сплошного сечения при $d < 1,4$ или порошковой проволокой | В лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное | $\beta_f$   | 0,7                                                               |        |         |           |
|                                                                                               |                                                             | $\beta_z$   | 1,0                                                               |        |         |           |

Расчетное сопротивление сварного стыкового шва зависит от способов контроля качества сварного шва. Расчетное сопротивление сварного стыкового шва  $R_{wy}$  равно расчетному сопротивлению основного металла  $R_y$  при сжатии, а также при растяжении, если применяются физические методы контроля качества сварных швов (об этом обязательно должна быть сделана запись в рабочих чертежах КМ). Если физические методы контроля качества шва, работающего на растяжение, не используются, то следует принимать  $R_{wy} = 0,85 R_y$ .

Так как расчетное сопротивление стали зависит от толщины проката, то в расчетах следует принимать  $R_y$  наиболее толстого из свариваемых элементов.

Расчет сварных стыковых соединений растянутых элементов конструкций из стали с соотношением  $R_u / \gamma_u > R_y$ , эксплуатация которых возможна и после достижения металлом предела текучести, производится по формуле

$$N / (t l_w) \leq R_{wu} / \gamma_u \gamma_c, \quad (2.2)$$

где  $R_u$  – расчетное сопротивление проката по временному сопротивлению;

$\gamma_u$  – дополнительный коэффициент надежности, учитывающий повышенную опасность при расчете конструкций с использованием расчетного сопротивления  $R_u$  и принимаемый для стали равным  $\gamma_u = 1,3$ ;

$R_{wu}$  – расчетное сопротивление сварного соединения по временному сопротивлению (см. Таблица 2.5).

Расчет сварных стыковых соединений выполнять не требуется при применении сварочных материалов (Таблица 2.6), полном проваре соединяемых элементов и физическом контроле качества растянутых швов.

Таблица 2.6 – Материалы для сварки

| Сталь                              | Материалы для сварки         |                                           |                                        |                                                  |
|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                    | под флюсом                   |                                           | в углекислом газе<br>(по ГОСТ 8050-85) | покрыты-ми элек-тродами типов (по ГОСТ 9467-75*) |
|                                    |                              |                                           |                                        |                                                  |
|                                    | флюсов<br>(по ГОСТ 9087-81*) | сварочной проволоки<br>(по ГОСТ 2246-70*) |                                        |                                                  |
|                                    |                              |                                           |                                        |                                                  |
|                                    |                              |                                           |                                        |                                                  |
| C235, C245, C255, C275, C285, Ст20 | АН-348-А<br>АН-60            | Св-08А<br>Св-08ГА                         | Св-08Г2С                               | Э42<br>Э46                                       |
| C345, C345Т, C375, C375Т           | АН-43<br>АН-47               | Св-10НМА<br>Св-10Г2*                      |                                        | Э50                                              |
| C390, C390Т, C390К, C440           | АН-47<br>АН-17М <sub>1</sub> | Св-08ГА*<br>Св-10ГА*                      |                                        | Э50                                              |
| C345К                              | АН-348-А                     | Св-08Х1ДЮ                                 | Св-08ХГ2СДЮ                            | Э50А                                             |

\* Не применять в сочетании с флюсом АН-43.

### 2.1.3.2 Нахлесточные соединения

Передача усилия с одного элемента на другой происходит неравномерно как по длине шва, так и по поперечному сечению соединения. Но при статическом нагружении перед разрушением напряжения выравниваются за счет пластической работы перенапряженных (концевых) участков шва.

Лобовые швы, обладая большей жесткостью и прочностью, чем фланговые, в запас прочности рассчитываются, как фланговые. При одновременном использовании лобовых и фланговых швов (в комбинированных соединениях) в результате развития пластических деформаций усилия в швах выравниваются и расчет комбинированных соединений произво-

дится по суммарной площади швов. В основу расчета принимается допущение о равномерном распределении напряжений среза.

Сварные соединения с угловыми швами при действии продольной и поперечной сил рассчитываются на условный срез по двум сечениям (рисунок 2.9):

– по металлу шва (сечение 1-1):

$$N / (\beta_f k_f l_w) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (2.3)$$

– по металлу границы сплавления (сечение 2-2):

$$N / (\beta_z k_f l_w) \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c. \quad (2.4)$$

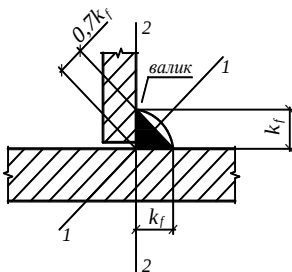


Рисунок 2.9 – Схема расчетных сечений сварного соединения с угловым швом

Расчет по металлу шва производится по минимальной площади сечения шва, проходящей через меньшую высоту условного треугольника шва (без учета наплыва). Для ручной сварки при равных катетах шва эта высота равна  $0,7k_f$ .

Необходимость расчета сварного шва по металлу границы сплавления (по сечению с большей расчетной площадью) вызвана применением сварочных материалов с прочностью, превышающей прочность основного материала соединяемых элементов (несущую способность соединения определяет менее прочный основной металл).

При автоматической и механизированной сварке провар в углу (корне) шва глубже, чем при ручной сварке, и при работе

шва на срез включается в работу часть основного материала, условная высота треугольного сечения шва принимается равной  $\beta_f k_f$  или  $\beta_z k_f$ ,

где  $\beta_f$  и  $\beta_z$  – коэффициенты, учитывающие глубину проплавления шва и границы сплавления, принимаемые при сварке из стали: с пределом текучести до 530 МПа по таблице 2.6; с пределом текучести свыше 530 МПа независимо от вида сварки, положения шва и диаметра сварочной проволоки –  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_z = 1,0$ ;

$k_f$  – катет углового шва, равный катету вписанного равнобедренного прямоугольного треугольника.

Минимальное значение катета шва принимается в зависимости от толщины более толстого из свариваемых элементов, способа сварки, марки стали и вида соединения (Таблица 2.3). В нахлесточных соединениях катет шва принимается равным меньшей из толщин соединяемых деталей

При сварке вдоль кромок прокатных профилей, имеющих скругление, наибольшую толщину углового шва  $k_{f, \max}$  при статической и динамической нагрузках рекомендуется принимать по таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Максимальные катеты швов  $k_{f, \max}$  у скруглений прокатных профилей

| $k_{f, \max}$ , мм                       | 4        | 5       | 6       | 8       | 10        | 12      |
|------------------------------------------|----------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| Номер двутавра                           | 10...12  | 14...16 | 18...27 | 30...40 | 45        | 50...60 |
| Номер швеллера                           | 5...8    | 10...14 | 16...27 | 30      | 36...40   | –       |
| Вдоль пера уголков при толщине полки $t$ |          |         |         |         |           |         |
| $t$ , мм                                 | $\leq 6$ |         | 7...16  |         | $\geq 18$ |         |
| $k_f$ , мм                               | $t - 1$  |         | $t - 2$ |         | $t - 4$   |         |

Расчетная длина шва  $l_w$  принимается равной сумме расчетных длин каждого из накладываемых швов.

Из-за непроара в начале сварного шва и кратера в конце шва расчетная длина каждого шва принимается на 10 мм меньше фактической и должна быть не менее  $4k_f$  и 40 мм, т. к. при работе более коротких швов сильно сказывается не учитываемое расчетом влияние эксцентриситета  $e$  и возникающего при этом дополнительного изгибающего момента (см. рисунок 2.3, а).

Максимальная длина флангового шва (из-за большой концентрации напряжений в начале и конце шва возможно достижение предельного состояния в наиболее напряженных точках раньше, чем выровняются напряжения по всей длине шва) принимается  $l_{w,max} \leq 85\beta_f \cdot k_f$ , кроме швов, в которых усилие действует на всем протяжении швов. Например, в поясных швах составных балок, где длина шва не ограничивается. Длина нахлеста листов в нахлесточных соединениях должна быть не менее пяти толщин наиболее тонкого из свариваемых элементов (рисунок 2.3, а).

Расчетные сопротивления сварных соединений  $R_{wf}$  – при расчете по металлу шва и  $R_{wz}$  – при расчете по металлу границы сплавления (Таблица 2.8).

Коэффициент условий работы конструкции  $\gamma_c = 1,0$  (см. таблицу 1.3). Коэффициенты условий работы шва  $\gamma_{wf}$  и  $\gamma_{wz}$ , равные 1,0 во всех случаях, кроме конструкций, возводимых в климатических районах I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub> и II<sub>3</sub>, для которых  $\gamma_{wf} = 0,85$  для металла шва с нормативным сопротивлением  $R_{wun} = 410$  МПа и  $\gamma_{wz} = 0,85$  – для всех сталей.

### 2.1.3.3 Комбинированные соединения

Комбинированное соединение может применяться в случае особой необходимости, когда напряжения в основном металле больше допустимых для сварных швов ( $R_{wy} = 0,85R_y$ ). В этом случае для обеспечения равной прочности сварного соединения основному сечению стыковые швы усиливаются двусторонними накладками (рисунок 2.12). Такое соединение допустимо при работе на статические нагрузки.

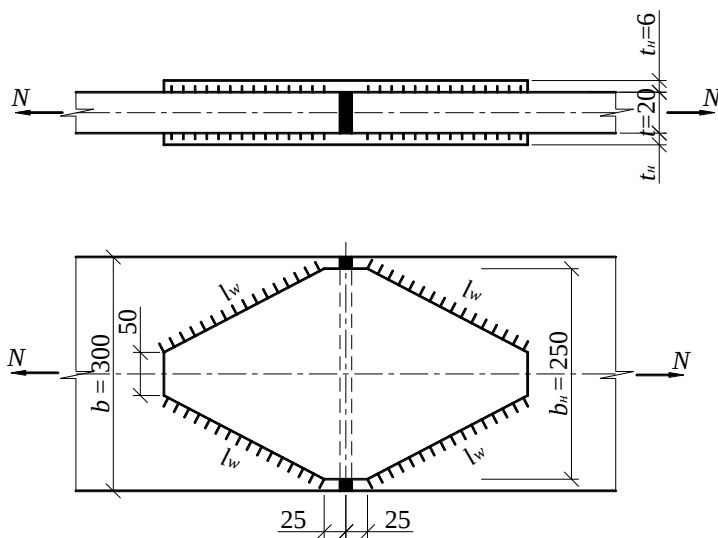


Рисунок 2.12 – Усиление стыкового шва накладками

Перед наложением накладок усиление сварного шва (валик шва) снимается наждачным кругом.

### 2.1.3.4 Тавровые соединения

Тавровые соединения применяют при изготовлении сварных стержней (двутавров, тавров) и других конструктивных элементов (двутавровые балки, колонны). В тавровом соединении торец одного элемента приваривается к поверхности другого элемента двумя угловыми швами. Для крепления ребер жесткости и диафрагм, а также для сварки стенок с поясами балок и колонн двутаврового сечения, работающих на статическую нагрузку, допускается применение односторонних угловых швов с катетом  $k_f$  минимальное значение которого определяется по таблице 2.3.

В ответственных конструкциях, работающих на динамическую нагрузку, или возводимых и эксплуатируемых в районах с расчетными температурами ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  (конструкции «северного исполнения») соединение элементов производится стыковыми швами с проплавлением шва на всю глубину (при толщине привариваемого элемента  $t > 10$  мм с разделкой кромок под сварку).

## 2.2 Болтовые соединения

Болтовые соединения осуществляют путем постановки металлических стержней (болтов) в совмещенные отверстия соединяемых элементов.

В болтовых соединениях стальных конструкций применяют болты различного назначения (рисунок 2.13).

Болты обычные и высокопрочные используют для соединения элементов стальных конструкций друг с другом, а болты анкерные – для присоединения конструкций к фундаменту.

Обычные болты изготавливают грубой (класс точности С), нормальной (класс точности В) и повышенной (класс точности А) точности.

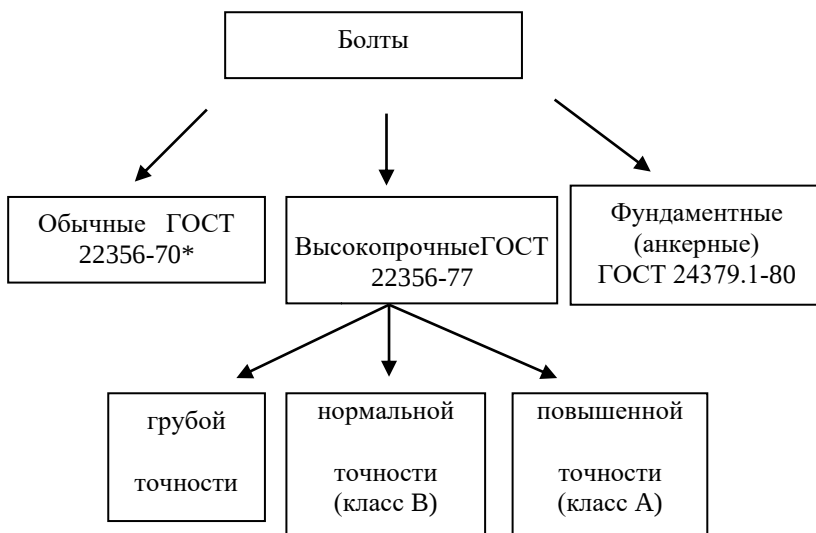


Рисунок 2.13 – Классификация болтов

Болты класса точности А следует применять для соединений, в которых отверстия просверлены на проектный диаметр в собранных элементах или по кондукторам в отдельных элементах и деталях, а также просверлены или продавлены на меньший диаметр в отдельных деталях с последующим сверлением на проектный диаметр.

Для нерасчетных монтажных соединений применяются болты класса точности С, для расчетных – В и А. Болты классов точности В и С в многоболтовых соединениях следует применять для конструкций из стали с пределом текучести 380 МПа. В соединениях, где болты работают преимущественно на растяжение, как правило, применяют болты классов точности В и С или высокопрочные.

Элементы в узле допускается крепить одним болтом.

Диаметры отверстий, в которые вставляются болты, выполняются больше диаметра стержня болта (Таблица 2.9).

По прочности болты подразделяются на классы, которые обозначаются двумя цифрами, разделенными точкой (4.6; 5.6; 5.8 и т.п.). Первая цифра, умноженная на 10, обозначает минимальное временное сопротивление материала болта  $\sigma_u$  в кН/см<sup>2</sup>; произведение цифр определяет значение предела текучести материала болта  $\sigma_y$  в кН/см<sup>2</sup>; вторая цифра, умноженная на 10, обозначает соотношение  $\sigma_y / \sigma_u$  в процентах.

Таблица 2.9 – Диаметры отверстий болтов

| Класс точности<br>болта | Диаметр, мм |                           |
|-------------------------|-------------|---------------------------|
|                         | болта $d$   | отверстия $d_0$           |
| С                       | $d$         | $d_0 = d + (2...3)$       |
| Б                       | $d$         | $d_0 = d + (1...1,5)$     |
| А                       | $d$         | $d_0 = d + (0,25...0,30)$ |

По механизму передачи внешних усилий различают несколько видов болтовых соединений.

*Срезные* соединения, в которых внешние усилия воспринимаются вследствие сопротивления болтов срезу и соединяемых элементов смятию. Отличительное свойство срезных соединений – достаточно высокая деформативность. Поэтому основная область их применения – соединения элементов, подвергающихся воздействию статических нагрузок.

*Фрикционные* или сдвигоустойчивые соединения, в которых внешние усилия воспринимаются вследствие сопротивления сил трения, возникающих по контактным плоскостям

соединяемых элементов от сжатия пакета предварительно натянутыми высокопрочными болтами. Эти соединения наиболее трудоемки по сравнению с другими типами болтовых соединений и применяются в конструкциях, воспринимающих различного рода вибрационные, циклические и знакопеременные нагрузки, а также эксплуатируемых в условиях низких температур, где требуется повышенная надежность.

*Фрикционно-срезные*, в которых внешние усилия воспринимаются в результате совместного сопротивления сил трения, болтов срезу и соединяемых элементов смятию.

*Фланцевые* соединения, в которых внешние усилия воспринимаются главным образом вследствие преодоления сопротивления сжатию фланцев от предварительно натяжения высокопрочных болтов. Фланцевые соединения, в которых высокая несущая способность высокопрочных болтов используется впрямую и практически полностью, являются одним из эффективных типов болтовых соединений элементов, подверженных растяжению, изгибу или совместному их действию.

*Специальные* болтовые соединения на самонарезающих болтах, комбинированных заклепках применяются в основном для крепления профилированного настила в покрытиях зданий.

*Фундаментные* (анкерные) болты с диаметром резьбы 12...140 мм работают на растяжение, предназначены для крепления строительных конструкций к фундаменту и классифицируются по следующим признакам:

– конструктивному решению (изогнутые, с анкерной плитой, составные съемные);

- способу установки в фундамент (устанавливаемые на готовые фундаменты в колодцы или скважины);
- способу закрепления в бетоне фундамента (закрепляемые непосредственно взаимодействием элементов (шпилек или анкерных плит) болтов с бетоном фундамента, закрепляемые с помощью эпоксидного или силикоанового клея, цементно-песчаных смесей, либо с помощью разжимных цанг);
- условиям эксплуатации (расчетные и конструктивные).

## 2.2.1 Размещение болтов в соединении

Центры болтовых отверстий должны располагаться по прямым линиям, параллельным действующему усилию, называемыми рисками. Расстояние  $a$  между центрами соседних отверстий вдоль риски называется шагом, расстояние  $c$  между соседними рисками – дорожкой.

Болты размещаются в рядовом или шахматном порядке (рисунок 2.14) согласно требованиям таблицы 2.10, при этом в расчетных соединениях (стыках и узлах) устанавливается минимальный шаг болтов  $a_{\min}$ . Он определяется из условия прочности основного металла. Этим достигается экономия материала накладок, фасонки и других элементов в соединении. Максимальное расстояние между болтами  $a_{\max}$  назначается в нерасчетных (связующих) соединениях для уменьшения количества болтов. Оно определяется устойчивостью более тонкого наружного элемента  $t_{\min}$  при сжатии в промежутках между болтами и плотностью соединения растянутых элементов в целях устранения коррозионной опасности (зависит от диаметра болта  $d$ ).

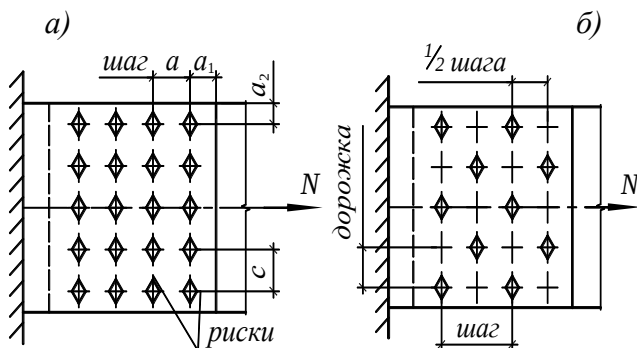


Рисунок 2.14 - Размещение болтов:

*a* – рядовое; *б* – шахматное

Таблица 2.10 – Размещение болтов

| Характеристика расстояния                                                                                                                                                                                                                                                                             | Расстояние                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1. Расстояния между центрами болтов в любом направлении:<br>а) минимальное<br>б) максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии<br>в) максимальное в средних рядах, а также в крайних рядах при наличии окаймляющих уголков:<br>при растяжении<br>при сжатии | $2,5d^*$<br>$8d$ или $12t$<br><br>$16d$ или $24t$<br>$12d$ или $18t$ |
| 2. Расстояния от центра болта до края элемента:<br>а) минимальное вдоль усилия<br>б) минимальное поперек усилия:<br>при обрезных кромках<br>при прокатных кромках<br>в) максимальное<br>г) минимальное для высокопрочных болтов при любой кромке и любом направлении усилия<br>д) то же максимальное  | $2d$<br><br>$1,5d$<br>$1,2d$<br>$4d$ или $8t$<br>$1,3d$<br><br>$4d$  |

\* В соединяемых элементах из стали с пределом текучести свыше 380 МПа минимальное расстояние между болтами следует принимать равным  $3d$ .

Обозначения, принятые в таблице:

$d$  – диаметр отверстия для болта;

$t$  – толщина наиболее тонкого наружного элемента

При размещении болтов в шахматном порядке расстояние между их центрами вдоль усилия следует принимать не менее  $a + 1,5d$ , где  $a$  – расстояние между рядами поперек усилия,  $d$  – диаметр отверстия для болта. При таком размещении сечение элемента  $A_n$  определяется с учетом ослабления его отверстиями, расположенными только в одном сечении поперек усилия (не по «зигзагу»).

Под гайки болтов следует устанавливать шайбы. В болтовом соединении на высокопрочных болтах необходимо устанавливать две шайбы – под головку болта и гайку, так как основное назначение шайб заключается в уменьшении трения по торцевой поверхности головки болта или гайки при закручивании. В соединениях с болтами классов точности А, В и С (за исключением крепления второстепенных конструкций и соединений на высокопрочных болтах) должны быть предусмотрены меры против развинчивания гаек (постановка пружинных шайб или контргаек).

## 3 БАЛОЧНЫЕ КЛЕТКИ

### 3.1 Общие сведения

Балки – наиболее распространенные строительные конструкции. Они нашли широкое применение в строительстве самых различных сооружений: в общественных, гражданских и промышленных зданиях; мостах; эстакадах; гидротехнических сооружениях и т.д. Балки просты по конструкции, недороги в изготовлении и надежны в работе. Они предназначены для восприятия нагрузок, приложенных в пролете, передачи их на опоры и работают, в основном, на поперечный изгиб. По статической схеме балки разделяют на разрезные, неразрезные и консольные. С точки зрения расхода материала наиболее эффективна двутавровая форма сечения балок.

Стальные балки бывают прокатными и составными. Прокатные балки, чаще всего, имеют двутавровое сечение с параллельными или наклонными гранями полков, реже применяют горячекатаные или холодногнутые швеллеры. Такие балки менее трудоемки в изготовлении, чем составные, но ограниченность сортамента делает невозможным их применение при больших изгибающих моментах. Составные балки изготавливают сварными, реже составными и клепаными. Основной тип сечения балок – двутавровое из трех листов: вертикального – стенки и двух горизонтальных – полков, приваренных к стенке в заводских условиях автоматической сваркой рисунок 3.1.

Балочными клетками называют систему перекрестных балок, расположенных обычно во взаимно перпендикулярных направлениях, образующую покрытие или перекрытие.

Балочные клетки применяют в рабочих площадках, покрытиях и перекрытиях зданий, в пролетных строениях мостов, в затворах гидротехнических сооружений и т.д. На балочную клетку укладывают несущий настил (стальной или железобетонный).

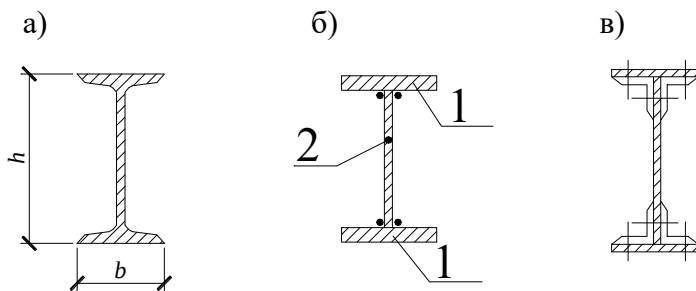


Рисунок 3.1 – Виды балок

а) прокатная; б) сварная составная; в) клепанная составная  
1 – верхняя и нижняя полки; 2 – стенка балки

В зависимости от назначения, габаритных размеров, значения и схемы расположения нагрузок, типа настила выбирают схему балочной клетки. При этом рассматривают разные типы балочных клеток и выбирают наилучший, исходя из наименьших затрат металла и труда на изготовление и монтаж конструкций.

Самым верхним элементом балочной клетки является настил.

По схеме компоновке в плане различают три типа балочных клеток: упрощенный, нормальный и усложненный.

Упрощенный тип основан на использовании балок одного направления, передающих нагрузку на опоры.

Нормальный тип состоит из главных балок и балок настила, по которым укладывается настил. В балочной клетке нормального типа нагрузка с настила передается последовательно на балки настила (БН), на главные балки, а затем на колонны (рисунок 3.2; 3.3).

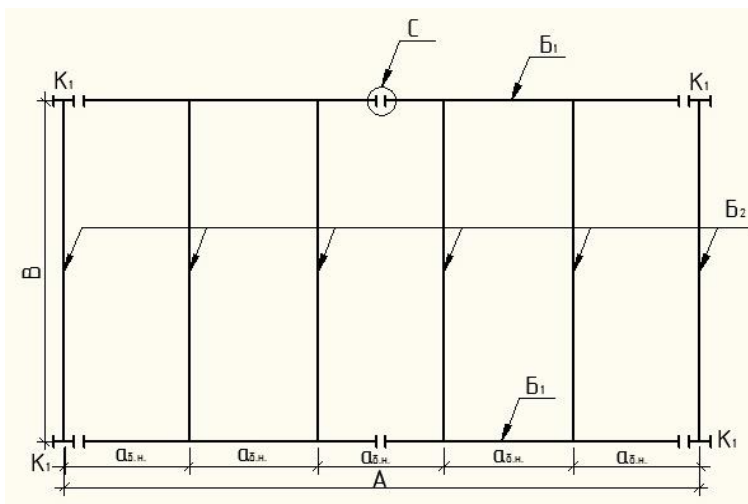


Рисунок 3.2 – Нормальный тип балочной клетки:  
 К1 – колонна; Б1 – главная балка; Б2 – балка настила;  
 С – укрупнительный стык главной балки .  
 Число шагов балок настила нечетное ( $n = 1, 3, 5, 7 \dots$ )

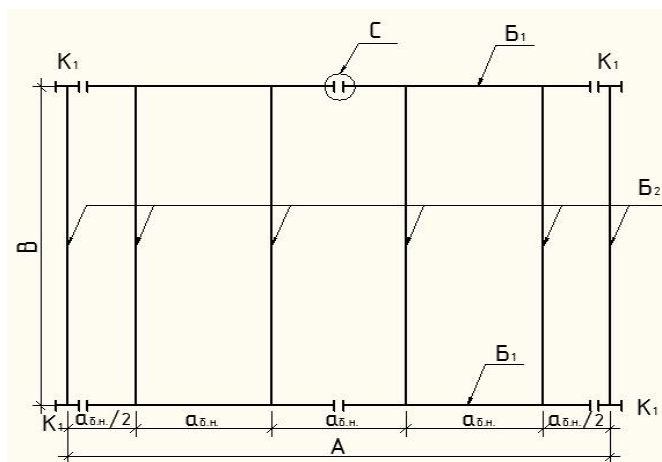


Рисунок 3.3 – Нормальный тип балочной клетки:  
 К1 – колонна; Б1 – главная балка; Б2 – балка настила;  
 С – укрупнительный стык главной балки.  
 Число шагов балок настила четное ( $n = 2; 4; 6; 8 \dots$ )

В усложненном типе балочной клетки (рисунок 3.4, 3.5) имеется три вида балок – главные (ГБ), вспомогательные (ВБ), воспринимающие нагрузку от балок настила и настила. Усложненный тип целесообразно использовать, когда необходимо перекрыть сравнительно большие пролеты, а число внутренних колонн свести к минимуму.

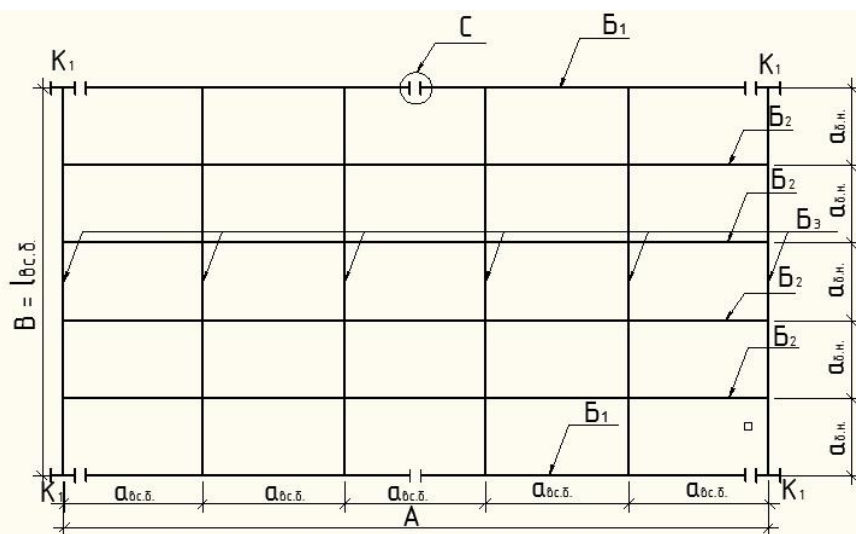


Рисунок 3.4 – Усложненный тип балочной клетки:  
 $K_1$  – колонна;  $B_1$  – главная балка;  $B_2$  – балка настила;  
 $B_3$  – вспомогательная балка;  
 $C$  – укрупнительный стык главной балки.  
 Число шагов балок настила нечетное ( $n = 1, 3, 5, 7 \dots$ )

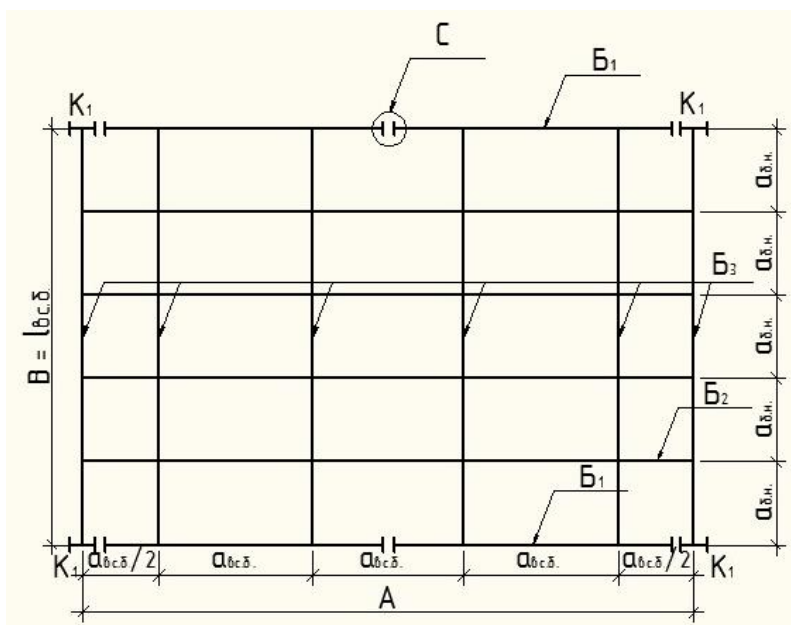


Рисунок 3.5 – Усложненный тип балочной клетки:

K1 – колонна; B1 – главная балка; B2 – балка настила;

B3 – вспомогательная балка; C – укрупнительный стык главной балки.

Число шагов балок настила четное ( $n = 2; 4; 6; 8 \dots$ )

Главные балки проектируют составными, а вспомогательные балки и балки настила – прокатными.

Расстояние между колоннами в перпендикулярном направлении представляет собой шаг балок  $B$ . Расстояние между балками настила и вспомогательными балками (шаг балок) назначают оптимальными, исходя из наименьшей стоимости конструкций балочной клетки. Балки настила раскладывают по длине главных балок с одинаковым шагом в пределах  $0,6 \dots 1,6$  м при стальном и  $2 \dots 3,5$  м при железобетонном настиле. При этом возможно смещение БН на половину их шага с оси колонн.

Расстояние между вспомогательными балками назначают  $2 \dots 5$  м, и оно должно быть кратно пролету главной балки. ВБ

также могут смещаться с оси колонн на половину их шага. Устанавливая шаг балок, необходимо соблюдать условие: ни одна из балок не должна опираться на главную в месте ее монтажного (укрупнительного) стыка.

Размеры балочной клетки в плане и по высоте (отметка верха настила(ОВН) и отметка низа конструкций (ОНК)) увязывают с требованиями технологической части проекта (габаритом). Если такие требования отсутствуют, то все размеры, в том числе и строительную высоту, назначают из экономических соображений. Строительная высота перекрытия (покрытия)  $H_{стр}$  включает высоту главных балок, балок настила (при этажном сопряжении с главными балками), толщину рабочего настила и конструктивный зазор (25...50 мм).

Рациональность выбора типа балочной конструкции зависит от принятого способа сопряжения главных и вспомогательных балок.

Возможны три варианта сопряжений балок: этажное, в одном уровне и пониженное (рисунок 3.6).

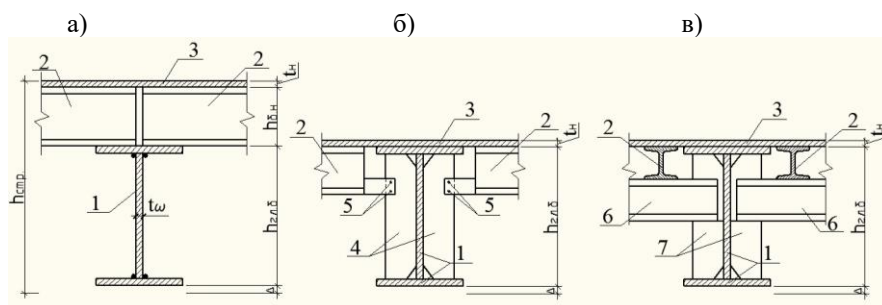


Рисунок 3.6 – Схемы сопряжения балок по высоте:

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

1 – главная балка; 2 – балка настила; 3 – настил; 4 – ребра жесткости главной балки; 5 – болты  $\varnothing 16$  нормальной точности, отверстия  $\varnothing 19$ ;

6 – вспомогательная балка; 7 – опорные столики

Конструкция этажного сопряжения наиболее проста, но ведет к увеличению строительной высоты. Такое сопряжение следует применять, когда позволяет строительная высота покрытия (перекрытия) площадки. Сопряжение в одном уровне и пониженное рекомендуется применять в случае ограничения строительной высоты покрытия (перекрытия): первое – в нормальном типе балочной клетки, второе – только в усложненном типе балочной клетки.

### 3.2 Настил

Настилы балочных клеток бывают разнообразными в зависимости от назначения и конструктивного решения перекрытия. Наиболее распространенными являются стальные сплошные настилы из плоского или рифленого листа, железобетонные из сборных плит или монолитной плиты и сталежелезобетонные. Часто поверх несущего настила устраивают защитный настил (асфальтовый или бетонный толщиной 40...60 мм на железобетонном настиле, деревянный – на стальном).

Стальной настил (СН) может быть стационарным или съемным щитовым. Щитовой настил состоит из несущего стального листа, подкрепленного снизу продольными и поперечными ребрами и может иметь размеры до 3х12 м.

Для стального настила применяют плоские листы толщиной 6...12 мм из стали С235, привариваемые к поясам балок.

В конструктивном отношении стальной настил представляет собой пластину, приваренную по двум, трем или четырем сторонам к балкам и нагруженную вертикальной нагрузкой. Приварка настила к балке делает невозможным сближение опор настила при его прогибе под нагрузкой и вызывает в нем растягивающие цепные усилия  $N$ , улучшающие работу настила.

Для расчета из пластины вырезается полоса шириной 1 м вдоль короткой стороны настила и рассчитывается как балка

на двух опорах, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой. За расчетный пролет настила следует принимать расстояние между швами, но на практике обычно принимают шаг балок, на которые он опирается.

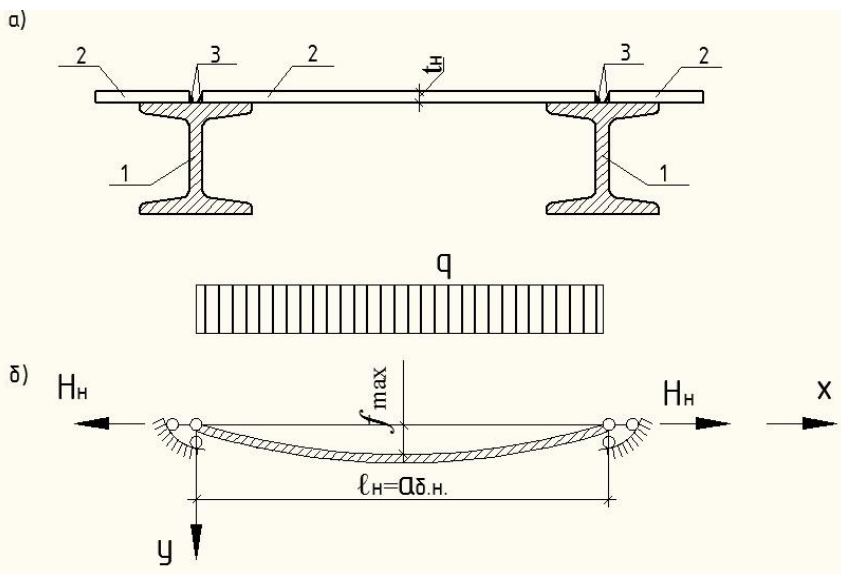


Рисунок 3.7 – К расчету стального настила:

а) опирание настила на балки настила Б2;

б) расчетная схема настила

1 – балки настила; 2 – стальной настил;

3 – сварные угловые швы

## 4 СТАЛЬНЫЕ КОЛОННЫ

Колонной называется вертикальный стержень, работающий на сжатие и передающий давление на фундамент (или на нижележащие части сооружения, если колонна многоярусная).

Колонны состоят из трех основных частей: стержня, являющегося основным несущим элементом колонны; оголовка, служащего опорой для вышележащих конструкций и закрепления их на колонне; *базы*, распределяющей сосредоточенную нагрузку от колонны по поверхности фундамента, обеспечивающей прикрепление с помощью анкерных болтов.

Колонны широко применяются во всех видах сооружений: в промышленном строительстве – в качестве элементов каркаса цехов и опор рабочих площадок, в гражданском строительстве – в качестве вертикальных элементов каркасов многоэтажных зданий и опор большепролетных покрытий, в мостостроении — для опор эстакад и т. д. Металлические колонны, как правило, выполняют из стали. Алюминиевые сплавы в сжатых элементах работают плохо из-за малого модуля упругости  $E$ , поэтому колонны из алюминиевых сплавов применяют в исключительных случаях (например, в сборно разборных конструкциях, при строительстве в труднодоступных районах и т. п.). В качестве соединений для колонн применяют сварку.

По конструкции колонны бывают для зданий, не имеющих мостовых кранов, и для зданий, оборудованных мостовыми кранами. Колонны для зданий, оборудованных кранами, состоят из двух частей: надкрановой и подкрановой.

Колонны классифицируются:

- 1) по характеру работы – центрально-сжатые; внецентренно-сжатые и сжато-изгибаемые;
- 2) по конструктивной форме – постоянного сечения; переменного сечения; ступенчатые;
- 3) по типу сечения – сплошные; сквозные.

Центрально-сжатые колонны работают на продольную силу, приложенную по оси колонны и вызывающую равно-

мерное сжатие ее поперечного сечения. Внецентренно-сжатые колонны и сжато-изгибаемые колонны, кроме осевого сжатия от продольной силы, работают также на изгиб от момента.

При выборе типа сечения колонны необходимо стремиться получить наиболее экономичное решение, учитывая величину нагрузки, удобство примыкания поддерживающих конструкций, условия эксплуатации, возможности изготовления.

Основным типом сплошных колонн, наряду с прокатными, является сварной двутавр, составленный из трех листов прокатной стали, наиболее удобный в изготовлении с помощью автоматической сварки и позволяющий просто осуществлять примыкание поддерживающих конструкций.

Сквозные колонны состоят из отдельных ветвей, объединенных соединительной решёткой из уголков или планок в единое целое (Рисунок 4.1). Если ее не поставить, то каждая ветвь будет работать самостоятельно и быстро потеряет устойчивость. Соединительная решётка из планок имеет меньшую трудоемкость и красивее выглядит, но менее жестка, чем соединительная решётка из уголков. В широких колоннах последняя оказывается легче, поэтому ее предпочитают при ширине колонны более 0,8—1 м или в колоннах, нагруженных продольной силой более 2500 кН.

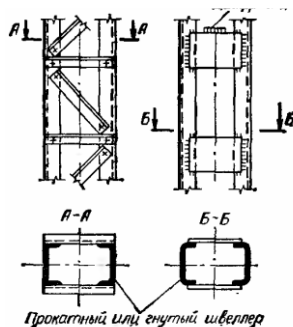


Рисунок. 4.1. Стержни сквозных колонн:

а) с соединительной решеткой; б) с соединительными планками

Выпучивание сжатого элемента происходит перпендикулярно той оси поперечного сечения, для которой гибкость больше. Если гибкость в обеих плоскостях одинакова, то стержень называется равноустойчивым, а форма его сечения является самой выгодной (для данного случая). Исходя из этого критерия, можно сравнить рациональность поперечных сечений колонн различных типов. Самая простая колонна — из прокатного двутавра, обычного или широкополочного. Из-за ограниченности сортамента двутавров такое решение возможно только для небольших и средних колонн.

Сварное крестовое сечение из трех листов при одинаковых габаритах обладает меньшим радиусом инерции, чем двутавровое сечение. Трубчатое и замкнутое квадратное сечения обладают наибольшим радиусом инерции и поэтому очень выгодны при работе на сжатие. Колонны из готовых замкнутых профилей самые экономичные по расходу стали. Но из-за дефицитности таких профилей это решение применяется редко. Замкнутые составные сечения более трудоемки, но выполняются из менее дефицитных швеллеров и уголков.

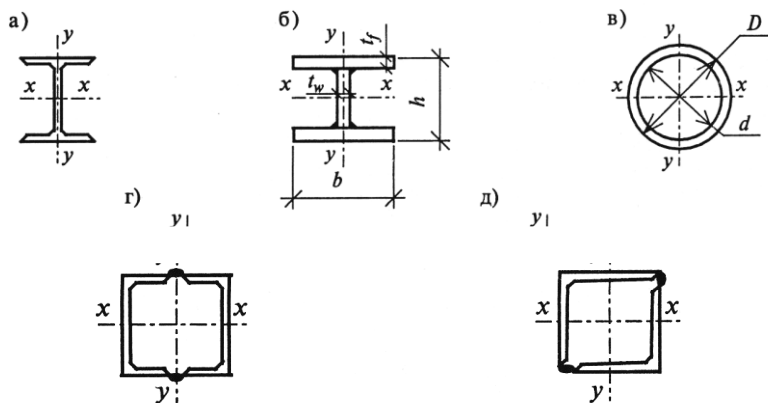


Рисунок. 4.2. Сечения сплошных колонн

а) прокатный двутавр; б) сварной двутавр; в) труба; сечение из двух швеллеров; д) из двух уголков

В сквозных колоннах расстояние между ветвями назначается так, чтобы сечение получилось равноустойчивым. Сквозные колонны обычно проектируют из двух швеллеров, расположенных полками внутрь. Сечение из швеллеров полками наружу хуже, так как увеличивается расход металла на планки. Если площадь швеллеров оказывается недостаточной, сечение komponуют из двутавров. Сечение из четырех уголков применяют для очень легких и высоких колонн.

При сравнении сплошных и сквозных колонн выявляется, что первые менее трудоемки в изготовлении, обладают большей жесткостью, но при значительной ширине требуют увеличения расхода металла. Сквозные колонны применяют: для основных колонн промышленных зданий — при ширине колонны 1000 мм и более; для колонн рабочих площадок — при ширине сечения более 600 мм.

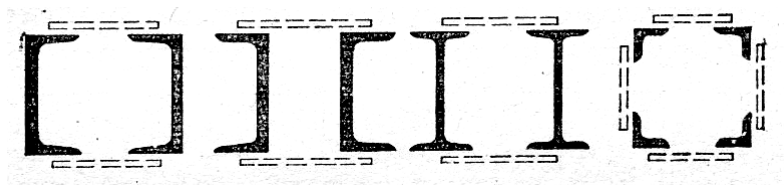


Рисунок. 4.3. Сечения сквозных колонн.

Для осмотра и возможной окраски внутренних поверхностей в сквозных колоннах из двух ветвей устанавливается зазор между полками ветвей не менее 100 мм.

При опирании балок на колонну сверху колонна рассматривается как шарнирно закрепленная в верхнем конце. Закрепление колонны в фундаменте может быть принято шарнирным или жестким. Если фундамент достаточно массивен, а база колонны развита и имеет надежное анкерное крепление, колонну можно считать защемленной в фундаменте.

## 4.1 Стержни колонн

Стержни колонн передают нагрузку от оголовка на базу. Для простых стержней нет каких-либо специальных требований, кроме тех, которые продиктованы расчетом. Стержни центрально-сжатых колонн должны проектироваться исходя из принципа равноустойчивости, т.е. их гибкости относительно главных осей сечения должны быть равны. В этом случае получаем наиболее экономичное по расходу материалов сечение. Условию равноустойчивости в полной мере отвечает сечение в виде трубы, но в таких стержнях трудно предохранять внутреннюю поверхность от коррозии. Поэтому стержни из труб следует применять, если предусмотрены меры против попадания в них влаги. Достаточно часто сечение стержня сплошной колонны проектируют в виде двутавра (прокатного или сварного). Применение; обычных прокатных двутавров меньше всего отвечает принципу равноустойчивости, так как они имеют сильно различающиеся радиусы инерции относительно осей  $x-x$ ,  $y-y$ . Рациональней использование широкополочных прокатных двутавров или следует выполнять сечение в виде сварных двутавров.

Сварные двутавры проще всего выполняются с помощью автоматической сварки.

Автоматическая сварка обеспечивает дешевый и индустриальный способ изготовления таких колонн. Сварной двутавр с полкой шириной, равной высоте, является основным типом сечения сварных колонн.

Выполнение стержня колонны из прокатных широкополочных двутавров или из сварных двутавров не отвечает в полной мере принципу равноустойчивости, но дает вполне пригодное для колонн сечение. Добиться одинаковых гибкостей в сварных двутаврах в принципе возможно за счет увеличения ширины полки, это резко усложняет технологию сварочных работ при привар полки к стенкам двутавра.

## 4.2 Оголовки центрально-сжатых колонн

Оголовок является верхней частью колонны, он служит для восприятия нагрузок от вышележащих конструкций и передачи их на стержень. В связи этим оголовки проектируются с учетом конструкции опирающихся на них балок или ферм (при этом также учитываются особенности их крепления), передачи нагрузок и с учетом сечения стержня колонны.

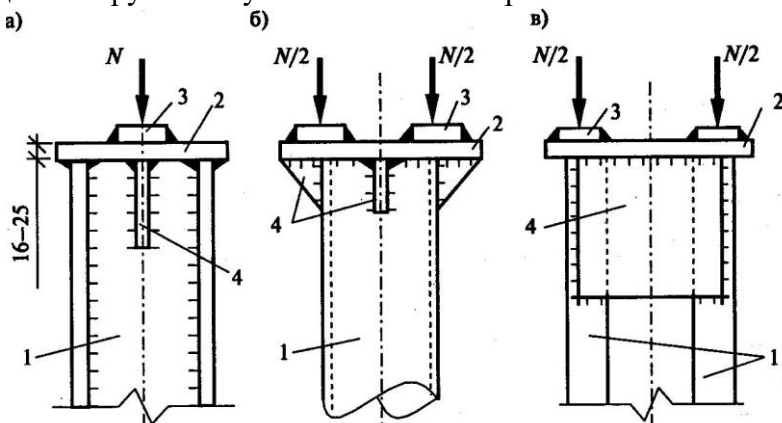


Рисунок 4.4— Оголовки стальных колонн с различным сечением стержней:

а) двутавр; б) труба; в) четыре уголка;

1 — стержень колонны; 2 — опорная плита; 3 — центрирующая пластинка;

4 — ребро жесткости

В оголовках тяжело нагруженных колонн обычно подлежат расчету: толщина опорного листа, длина ребер жесткости и прикрепляющие их угловые сварные швы. В сплошных колоннах опорный лист оголовка усиливают ребрами жесткости, которые препятствуют изгибу опорного листа и одновременно способствуют включению в работу всего расчетного сечения колонны. Длина ребер жесткости принимается из учета восприятия прикрепляющими их угловыми сварными швами всего приходящегося на колонну усилия.

Для центрирования нагрузки к опорному листу могут привариваться опорные (центрирующие) пластинки шириной до 100 мм.

#### 4.3 Базы центрально-сжатых стальных колонн

База колонны предназначена для распределения нагрузки и передачи ее на фундамент. Если нагрузку не распределить, то такая колонна раздавит бетон фундамента, т. к. прочности стали и бетона различны, и относительно небольшая площадь сечения стального стержня будет передавать значительные напряжения на бетон. База также обеспечивает крепление колонны к фундаменту.

В центрально-сжатых колоннах применяют два типа баз: с фрезерованным торцом и с распределительной конструкцией — траверсой. Колонна передает давление на фундамент через опорную плиту. В базе колонны расчету подлежат размеры опорной плиты (площадь и толщина листа), высота и толщина траверсы и др. В простейших случаях расчетом следует определить размеры опорной плиты (длину и ширину).

Толщина опорной плиты в этом случае может приниматься без расчета в пределах 20—60 мм.

Размеры опорной плиты (ширина  $B$  и длина  $L$ ) определяют из условия прочности материала фундамента (бетона) и назначаются по требуемой площади  $A_f$ , увязываются с контуром колонны (свесы опорной плиты должны быть не менее 40 мм) и согласуются с сортаментом.

База с распределительной конструкцией (траверсой) позволяет уменьшить толщину опорной плиты, т. к. траверса способствует распределению усилия от стержня колонны по опорной плите. Колонны с такими базами фиксируют в проектном положении при помощи установочных болтов, далее все бетонируется до верхнего обреза плиты и она закрепляется анкерными болтами. Диаметр анкерных болтов принимают конструктивно 20—30 мм. Толщина траверсы принимается 10—20 мм.

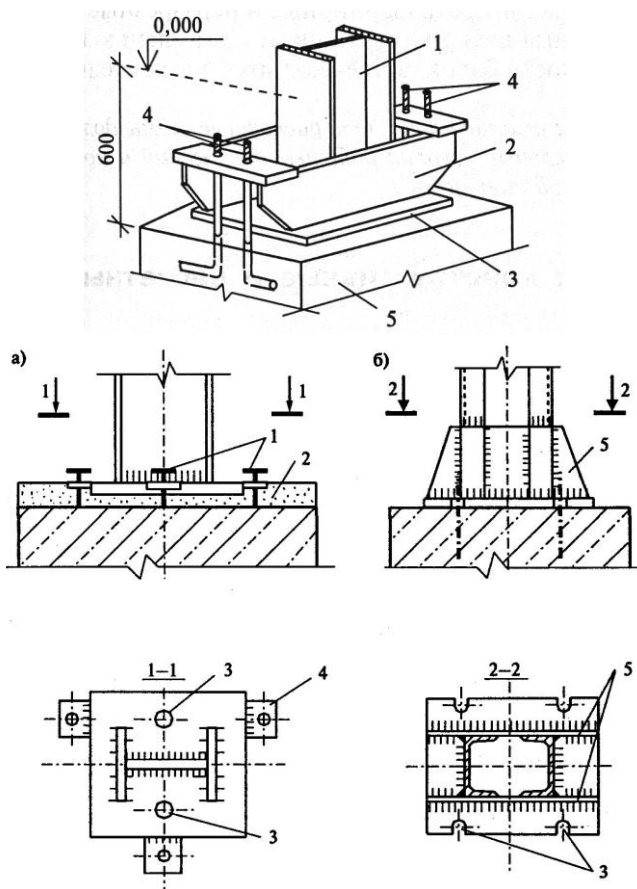


Рисунок 4.5– Базы центрально-сжатых колонн:

а) база без траверсы; б) база с траверсой;

1 – анкерные болты, 2 – бетон омоноличивания, 3 –отверстия анкерных болтов, 4 – анкерные пластины, 5 – траверса. 6 – опорная плита, 7 – стержень колонны

## 4.4 Фундаменты под колонны

Когда необходимо глубокое заложение фундаментов, колонны ставят на подколонники, а последние на фундаменты. Фундаменты выполняют из бетона марки 200, армированного стальными сетками. На фундамент может опираться одна, две или четыре колонны.

Глубина заложения фундаментов колонн здания зависит от глубины заложения фундаментов под оборудование (вблизи колонн) характеристики грунта и нагрузок, которые несут колонны.

Чаще всего при проектировании новых производственных зданий задаются таким заглублением колонн, чтобы в дальнейшем при необходимости можно было бы производить земляные работы, не опасаясь нарушения прочности здания вследствие осыпания грунта.

Для крановых зданий принимают глубину колонн 8 м, для бескрановых зданий – 4,5 – 5 м.

Три основных способа установки колонны на фундамент:

- 1) на стальные подкладки толщиной 40-60 мм между опорной плитой и верхом фундамента с последующей заливкой зазора цементным раствором;
- 2) на выверенную поверхность фундамента без последующей подливки;
- 3) на заранее установленные опорные плиты базы.

Первоначально на фундамент с большой точностью устанавливают опорные плиты с верхней фрезерованной поверхностью. Точную выверку плит производят при помощи установочных болтов или спец кондуктора. После выверки под плиты подливают цементный раствор. Колонну собирают в кондукторе, который обеспечивает точное совмещение опорных плоскостей обеих ветвей. Ветви колонн имеют фрезерованные торцы. Устанавливают колонну, надевают на анкерные болты анкерные плитки и болтами колонну плотно притягивают к фундаменту, колонну приваривают к опорной плите.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. –М. : Стройиздат, 2011.
2. Беленя Е. И. Металлические конструкции. Общий курс. / Е. И. Беленя. –М. : Стройиздат, 1985.
3. Мандриков А. П. Примеры расчета металлических конструкций. / А. П. Мандриков. –М. : Стройиздат, 1991.
4. Металлические конструкции. В 3-х т. Т.1. Общая часть : справочник проектировщика. –М. : АСВ, 1998.
5. Металлические конструкции. Спец. курс : учебное пособие для вузов. –М. : Стройиздат, 1991.
6. Сетков В.И., Сербин Е.П. Строительные конструкции. Учебник. – М.; ИНФРА, 2005.
7. Цай Т.Н. Строительные конструкции. В 2-х томах. Т.1, –М.: Стройиздат, 1984
8. Кеворков В.А., Паниева С.Л. Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по металлическим конструкциям на тему «Расчет несущих металлических конструкций балочных клеток». –Краснодар : КубГАУ, 2011.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                      | 3  |
| 1 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ<br>В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....                                     | 5  |
| 1.1 Металлические конструкции- области применения .....                                            | 5  |
| 1.2 Достоинства и недостатки стали и металлических<br>конструкций (МК).....                        | 6  |
| 1.3 Основные требования, предъявляемые к металлическим<br>конструкциям.....                        | 10 |
| 1.4 Строительные стали. Общие сведения.....                                                        | 13 |
| 1.4.1 Прочностные и деформативные характеристики<br>стали.....                                     | 15 |
| 1.4.2 Группы сталей по механическим<br>свойствам.....                                              | 16 |
| 1.4.3 Марки сталей для строительных<br>конструкций.....                                            | 17 |
| 1.5 Основы расчета металлических конструкций .....                                                 | 17 |
| 1.5.1 Метод расчета по предельным состояниям.....                                                  | 17 |
| 1.5.2 Нагрузки, действующие на металлические<br>конструкции.....                                   | 19 |
| 1.5.3 Нормативные и расчетные сопротивления стали..                                                | 26 |
| 1.6 Сортамент. Общая характеристика сортамента.....                                                | 31 |
| 1.6.1 Сталь листовая.....                                                                          | 33 |
| 1.6.2 Уголки.....                                                                                  | 34 |
| 1.6.3 Швеллеры.....                                                                                | 35 |
| 1.6.4 Двутавры.....                                                                                | 35 |
| 1.6.5 Трубы.....                                                                                   | 37 |
| 1.6.6 Вторичные профили.....                                                                       | 38 |
| 1.6.7 Различные профили и материалы, применяемые в<br>строительных металлических конструкциях..... | 39 |

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 2 СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ<br>КОНСТРУКЦИЙ..... | 40 |
| 2.1 Сварные соединения.....                              | 40 |
| 2.1.1 Виды сварных соединений.....                       | 41 |
| 2.1.2 Классификация сварных швов.....                    | 44 |
| 2.1.3 Расчет и конструирование сварных соединений....    | 55 |
| 2.1.3.1 Стыковые соединения.....                         | 55 |
| 2.1.3.2 Нахлесточные соединения.....                     | 58 |
| 2.1.3.3 Комбинированные соединения.....                  | 62 |
| 2.1.3.4 Тавровые соединения.....                         | 63 |
| 2.2 Болтовые соединения.....                             | 63 |
| 2.2.1 Размещение болтов в соединении.....                | 67 |
| 3 БАЛОЧНЫЕ КЛЕТКИ.....                                   | 70 |
| 3.1 Общие сведения.....                                  | 70 |
| 3.2 Настил.....                                          | 76 |
| 4 СТАЛЬНЫЕ КОЛОННЫ.....                                  | 78 |
| 4.1 Стержни колонн.....                                  | 82 |
| 4.2 Оголовки центрально-сжатых колонн.....               | 83 |
| 4.3 Базы центрально-сжатых стальных колонн.....          | 84 |
| 4.4 Фундаменты под колонны.....                          | 86 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....                    | 87 |

## **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**

*Методические рекомендации*

Составитель: **Паниева** Светлана Леонидовна

Формат 60 × 84  $\frac{1}{16}$

Типография Кубанского государственного  
аграрного университета.

350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

