

Общие сведения о металлических конструкциях. Материалы для металлических конструкций.

План.

1. Область применения. Достоинства и недостатки МК.
2. Строительные стали.
3. Физико-механические свойства стали.
4. Алюминиевые сплавы.
5. Сортамент прокатных профилей.

1. Область применения. Достоинства и недостатки МК.

Металлические конструкции применяются в зданиях и сооружениях многих типов, особенно при значительных пролетах, высотах и нагрузках.

Область применения металлических конструкций:

- 1) полностью стальные каркасы используют в промышленных зданиях с большими пролетами (в отапливаемых помещениях 30м и более, в неотапливаемых — 18м и более), большими высотами, с мостовыми кранами большой грузоподъемности (в цехах заводов металлургической промышленности и тяжелого машиностроения);
- 2) полностью стальные каркасы используют в производственных зданиях из типовых легких несущих и ограждающих конструкций, изготовляемых на поточных линиях специализированных предприятий;
- 3) в зданиях общественного назначения (спортивных сооружениях, рынках, выставочных павильонах, театрах) и некоторых зданиях производственного назначения (ангарах, авиасборочных цехах, лабораториях);
- 4) для строительства мостов больших пролетов;
- 5) для строительства башенных сооружений со средними пролетами;
- 6) из стальных листов выполняют покрытия горячих участков цехов с интенсивным теплоизлучением;
- 7) для резервуаров, газгольдеров, бункеров, трубопроводов большого диаметра и различных сооружений доменного комплекса, химического производства и нефтепереработки

Основные достоинства металлических конструкций:

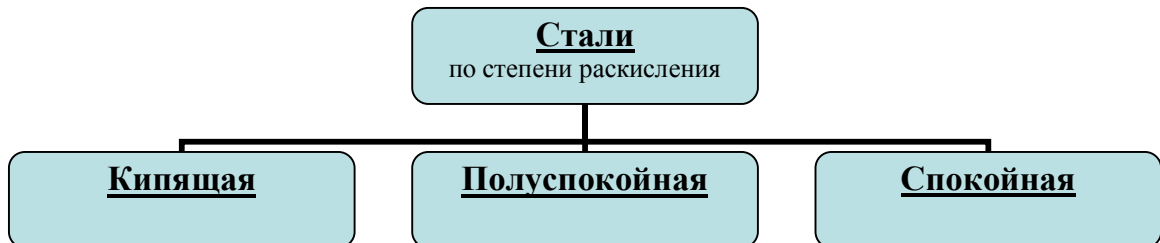
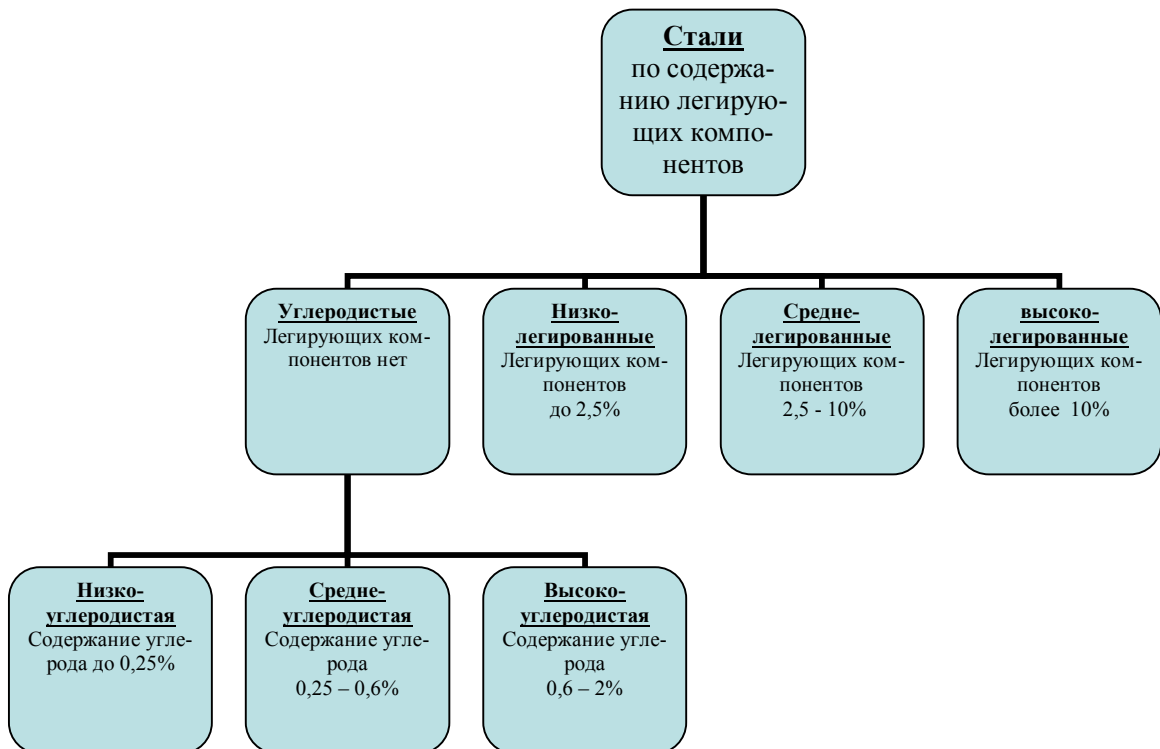
- 1) высокая несущая способность. Металлические конструкции могут воспринимать значительные усилия при относительно небольших сечениях вследствие большой прочности металла;
- 2) высокая надежность. Благодаря однородности структуры металла и его упругим свойствам металлические конструкции можно рассчитать наиболее точно, что позволяет обеспечить полную надежность работы проектируемого сооружения;
- 3) легкость и транспортабельность по сравнению с конструкциями из железобетона, камня и дерева.
- 4) сплошность материала и соединений, позволяющая осуществлять водонепроницаемые и газонепроницаемые конструкции;
- 5) индустриальность, достигаемая изготовлением конструкций на специализированных заводах и высокомеханизированным их монтажом на месте возведения сооружения.
- 6) удобны в эксплуатации, так как легко могут быть усилены при увеличении нагрузок, наиболее полно используются при реконструкциях, легко ремонтируются.

Недостатки металлических конструкций:

- 1) подвержены воздействию коррозии, что требует специальных мероприятий по их защите.
- 2) малая огнестойкость. При температурах свыше 400°C для сталей и свыше 200°C для алюминиевых сплавов начинается ползучесть материала (существенное развитие пластических деформаций при постоянной нагрузке).
- 3) высокая стоимость. Железная руда является не восполняемым полезным ископаемым.

2. Строительные стали.

Сталь — это сплав железа с углеродом и некоторыми добавками. Химический состав стали существенно влияет на ее физико-механические свойства, при этом одни химические элементы являются легирующими, улучшающими некоторые свойства стали, другие, остающиеся в процессе ее выплавки, — вредными, ухудшающими свойства.



При выплавке стали из перепельного чугуна выделяется газ (CO и CO₂), вызывающий кипение металла, продолжающееся в разливочном ковше и в изложницах до затвердевания слитка. Такая сталь называется **кипящей**. В этой стали наблюдается резкая неоднородность по содержанию углерода, серы и фосфора, что существенно влияет на однородность механических свойств, особенно при толщине проката более 20мм.

Спокойная сталь раскисляется в сталеплавильном агрегате, а также в ковше при выпуске из печи с помощью раскислителей: марганца, кремния, алюминия, иногда кальция и титана. Эти элементы более активно соединяются с кислородом, чем углерод, поэтому окисление углерода прекращается, и сталь перестает кипеть. Слитки спокойной стали гораздо однороднее по химическому составу, то же относится и к прокату. Применение раскислителей, увеличение времени плавки и ряд других факторов делают спокойную сталь значительно дороже кипящей.

Компромиссный вариант между качеством спокойной стали и дешевой кипящей — **полуспокойная** сталь, получаемая частичным раскислением. Такая сталь обладает высокими технико-экономическими показателями и более низкой стоимостью, чем спокойная сталь.

Промышленная поставка стали в зависимости от нормируемых свойств осуществляется по трем группам: А (гарантия по механическим свойствам), Б (гарантия по химическому составу) и В (гарантия по механическим свойствам и химическому составу), — с поставкой по 2—6 категориям в отношении ударной вязкости.

3. Физико-механические свойства стали.

Надежность и долговечность стальных конструкций во многом зависит от свойств материала. Наиболее важными для работы конструкций являются механические свойства: прочность, упругость, пластичность, склонность к хрупкому разрушению, ползучесть, твердость, а также свариваемость, коррозионная стойкость, склонность к старению и технологичность.

Прочность характеризуется сопротивлением материала внешним силовым воздействиям без разрушения.

Упругость — свойство материала восстанавливать свою первоначальную форму после снятия внешних нагрузок.

Пластичность — свойство материала получать остаточные деформации (не возвращаться в первоначальное состояние) после снятия внешних нагрузок.

Прочность, упругость и пластичность стали определяются испытанием на растяжение специальных стальных образцов (прямоугольного или круглого сечения) с записью диаграммы зависимости между напряжением $\sigma = N / A$ и относительным удлинением $\epsilon = (\Delta l / l) 100\%$, где N — нагрузка; A — первоначальная площадь поперечного сечения образца; l — первоначальная длина рабочей части образца; Δl — удлинение рабочей части образца.

Рассмотрим диаграмму растяжения сталей разных марок

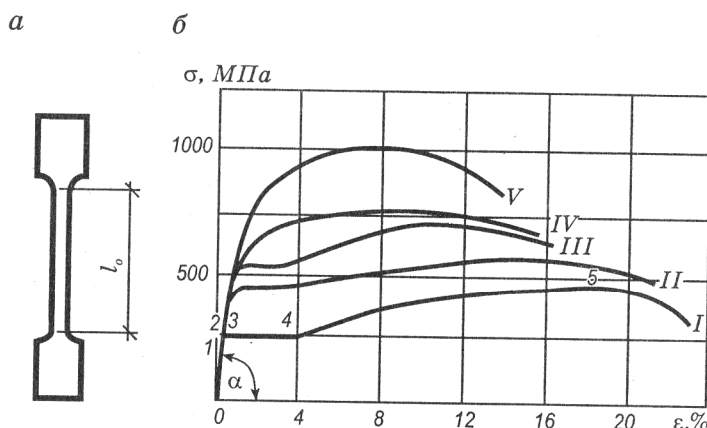


Рис. 24.1. Образец и диаграмма растяжения сталей разных марок: а — образец для испытания на растяжение; б — диаграмма растяжения сталей (I — обыкновенного качества, II — повышенной прочности, III—V — высокой прочности)

Проекция точки 1 (кривая I) на ось σ представляет собой предел пропорциональности, т.е. наибольшее напряжение, при превышении которого нарушается пропорциональная зависимость между напряжениями и деформациями (закон Гука):

$$E = \sigma / \varepsilon = \operatorname{tg} \alpha ,$$

где E — коэффициент пропорциональности, или модуль упругости, МПа.

Проекция точки 2 на ось σ , находящаяся несколько выше точки 1, характеризует **предел упругости стали**, т.е. наибольшее напряжение, при превышении которого после снятия внешней нагрузки в образце присутствуют остаточные деформации.

При достижении точки 3 начинается **текучесть материала**, т.е. увеличение деформаций при практически постоянном нормальном напряжении. Значение напряжения, характеризующее это состояние материала, называется **пределом текучести** σ_t , а горизонтальный участок между точками 3 и 4 условно называют площадкой текучести. Для низкоуглеродистых сталей за предел текучести принимают напряжение, которому соответствует относительное удлинение 0,2%. Для сталей, не имеющих площадки текучести (кривые 4—5), вводят понятие условного предела текучести, величину которого определяют по тем же правилам. Значение предела текучести в нормах называют **нормативным сопротивлением по пределу текучести**.

При дальнейшем увеличении нагрузки напряжения в образце увеличиваются. Однако деформации растут значительно быстрее напряжений. Эта область работы материала называется пластической стадией.

Прочность материала характеризуется наибольшим напряжением, при достижении которого начинается процесс разрушения образца (точка 5). Это напряжение называют **временным сопротивлением** σ_{br} , или **пределом прочности**. В нормах это напряжение называется **нормативным сопротивлением по пределу прочности**.

При увеличении прочности стали (кривые II, III, IV и V) заметно уменьшается площадка текучести, а для некоторых сталей она полностью отсутствует. Это свойство снижает надежность стали, увеличивая ее способность к хрупкому разрушению.

Хрупкость — это склонность материала к разрушению при малых деформациях.

Ползучесть — свойство материала непрерывно деформироваться во времени без увеличения нагрузки. Ползучесть в металлах, применяемых в строительных конструкциях, проявляется при высоких температурах.

Твердость — свойство поверхностного слоя металла сопротивляться деформации или разрушению. Основными показателями, характеризующими хрупкие и пластические свойства стали, являются относительное удлинение и условная ударная вязкость, измеряемая удельной работой, затрачиваемой для разрушения ударом стандартного образца с надрезом.

Основной способ соединения элементов стальных конструкций — сварка, поэтому важнейшим требованием, предъявляемым к строительным сталям, является **свариваемость**. Оценку свариваемости производят по химическому составу, а также путем применения специальных технологических проб.

Коррозионная стойкость определяет долговечность стальных конструкций и зависит от химического состава. Мерой коррозионной стойкости служит скорость коррозии по толщине металла в мм/год.

К важным механическим свойствам строительных сталей относятся явления наклепа, старения, неравномерного распределения напряжений и усталости. **Наклеп** — это увеличение области упругой работы стали $\sigma_k > R_{yk}$ путем предшествующего растяжения выше предела текучести.

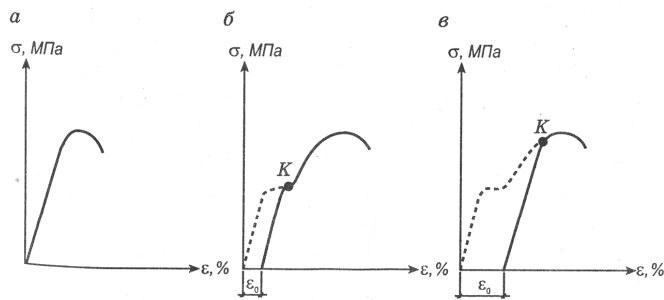


Рис. 24.2. Диаграммы растяжения стали при наклепе:
 а — диаграмма высокопрочной стали; б, в — диаграмма мягкой стали, растянутой до пластического состояния (пунктирная линия) и после снятия нагрузки и повторного нагружения

При повторном нагружении стали она начинает работать упруго до напряжения σ_k однако при этом значительно повышается ее хрупкость.

Сталь с течением времени под воздействием силовых и температурных колебаний постепенно изменяет свои свойства, улучшая, подобно наклепу, упругие свойства и снижая пластичность. Это свойство стали называется **старением**.

Основными расчетными характеристиками стали являются **расчетные сопротивления** на растяжение, сжатие и изгиб, определяемые делением нормативных сопротивлений (предела текучести и предела прочности) на коэффициент надежности по материалу. Коэффициент надежности по материалу изменяется в пределах 1,025-1,15.

Нормативные и расчетные сопротивления стали принимаются по таблице 51*СНиП П-23-81* в зависимости от стали, вида проката (фасонный или листовой) и толщины проката. Расчетные сопротивления должны умножаться на коэффициенты условий работы. Для стальных конструкций коэффициенты условий работы γ_c приведены в таблице 6* СНиП П-23-81*. В случаях, не оговоренных в таблице, следует принимать $\gamma_c = 1$.

Для ряда расчетов необходимо знать модуль упругости. **Модуль упругости стали** численно равен тангенсу угла наклона диаграммы к оси абсцисс: $E = \operatorname{tg} \alpha$. Для прокатной стали и стальных отливок модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа.

4. Алюминиевые сплавы.

Алюминий по своим свойствам существенно отличается от стали. В связи с этим область применения алюминиевых сплавов отличается от области применения сталей.

Достоинства алюминиевых сплавов:

1. Плотность алюминиевых сплавов почти в три раза меньше плотности стали;
2. Прочность некоторых алюминиевых сплавов превосходит прочность стали;
3. высокая стойкость против коррозии (в 10 – 20 раз выше стойкости обычной строительной стали);
4. изделия из алюминиевых сплавов проще и дешевле соответствующих стальных изделий (прессование дешевле проката);
5. при $t^0 < 0^0 C$ хрупкость алюминиевых сплавов уменьшается, а у сталей наоборот увеличивается;
6. антимагнитность.

Недостатки алюминиевых сплавов:

1. модуль упругости алюминиевых сплавов меньше модуля упругости сталей. Следовательно, жесткость балок и ферм из алюминиевых сплавов при прочих равных условиях меньше жесткости стальных балок и ферм;
2. стоимость конструкций из алюминиевых сплавов больше стоимости конструкций из стали;

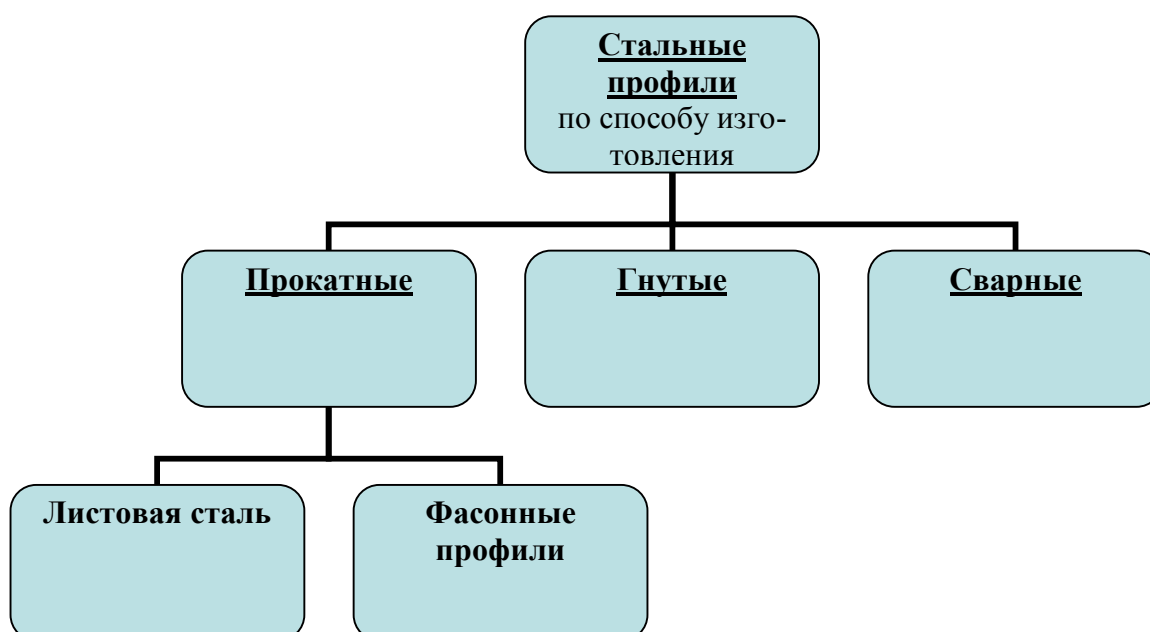
3. коэффициент линейного расширения алюминиевых сплавов в два раза больше, чем у стали, что заставляет чаще устраивать температурные швы.

Область применения алюминиевых сплавов:

1. витрины, витражи, архитектурные детали и т.п.;
2. кровельные панели;
3. конструкции, работающие в агрессивной среде;
4. конструкции для строительства в отдаленных районах, т.к. за счет уменьшения веса снижается стоимость перевозок.

5. Сортамент прокатных профилей.

Сортамент – это каталоги, поставляемых металлургическими заводами листов и профилей с указанием их формы, размеров, геометрических характеристик, массы и оформленные в виде государственных стандартов



Металлические конструкции изготавливаются из элементов, получаемых прокаткой стали (листы и фасонный прокат), прессованием (прессованные профили из алюминиевых сплавов) или холодным гнутьем (гнутые профили). В строительных конструкциях разнообразные стальные или алюминиевые профили применяют в различных сочетаниях. От правильного выбора материала (стали или алюминиевого сплава) и типа профиля зависит стоимость изготовления конструкции. В целях ограничения разнообразия типоразмеров проката и обеспечения унификации конструкций необходимо учитывать требования сокращенного сортамента, в котором нашла отражение не вся номенклатура выпускаемых заводами изделий, а наиболее распространенные профили проката, изготовленные из эффективных сталей.

Алюминиевые прессованные профили выпускаются различных очертаний, они изготавливаются путем продавливания нагретой алюминиевой заготовки через стальную матрицу с отверстием по форме сечения профиля. Для увеличения жесткости алюминиевых элементов их профили часто имеют утолщение на концах. Выпускаются также гнутые профили и листы, выполненные прокаткой.

В настоящее время промышленностью прокатывается толстолистовая сталь толщиной 4—160мм, шириной от 600 до 3800мм и длиной до 12 м (ГОСТ 19903—74), которая применяется в листовых конструкциях и сплошностенчатых элементах стержневых конструкций (балках, колоннах).

Сталь тонколистовая толщиной 0,5—4 мм прокатывается холодным и горячим способами (ГОСТ 19904—74 с изменениями, ГОСТ 19903—74 с изменениями). Применяется она для изготовления гнутых и штампованных тонкостенных профилей, профилированных настилов.

Сталь широкополосная универсальная толщиной 6—60 мм (ГОСТ 8200—70) благодаря прокату между четырьмя валками имеет ровные края, фиксированную ширину 200—1050 мм. Применение широкополосной стали не требует резки и выравнивания кромок.

Сталь полосовая толщиной 4—60 мм и шириной до 200 мм (ГОСТ 103—76) применяется для изготовления гнутых профилей.

Рифленая сталь с ромбическими или чевицеобразными выступами толщиной 2,5—8 мм и просечно-вытяжная сталь толщиной 4,5—6 мм (ГОСТ 8706—78), получаемая холодной вытяжкой листа с предварительно нанесенными разрезами, применяется для настилов площадок, ступеней лестниц, и т.п.

Уголкового профиля прокатываются в виде равнополочных (ГОСТ 8509—93) и неравнополочных (ГОСТ 8510—86) уголков. Полки уголков имеют параллельные грани. Уголки находят наиболее широкое применение в решетчатых конструкциях.

Характеристики сечений **швеллеров** зависят от их номеров, которые соответствуют их высоте в сантиметрах. Швеллеры по ГОСТ 8240—93 высотой 5—40 и имеющие уклоны внутренних граней полок иногда неудобны для конструирования. В ГОСТ входят и швеллеры с параллельными гранями полок с буквой П в обозначении, например, 16П, которые более конструктивны.

Швеллеры применяют в качестве прогонов в кровлях зданий, а также для компоновки составных сечений колонн, поясов тяжелых ферм и т.п.

Двутавры наиболее рациональны для применения в элементах, работающих на изгиб. Балки двутавровые обыкновенные, так же как и швеллеры, имеют уклон внутренних граней полок и обозначаются номерами, соответствующими их высоте (10—70 см). Балки двутавровые широкополочные (ГОСТ 26020—83, СТО АСЧМ 20—93) имеют параллельные грани полок.

Широкополочные двутавры прокатывают трех типов: нормальные двутавры (Б), широкополочные двутавры (Ш), колонные двутавры (К). Высота балочных профилей (Б) и (Ш) достигает 1000 мм при отношении ширины полок к высоте от 0,75 (при малых высотах) до 0,3 (при больших высотах). Колонные профили (К) имеют отношение ширины полки к высоте, близкое к единице.

Из широкополочных двутавров путем разрезки стенки в продольном направлении получают **тавровые профили**. В последнее время производство широкополочных двутавров увеличивается, производство обыкновенных — сокращается.

Использование автоматической сварки позволяет изготавливать тонкостенные двутавры из листового проката с более выгодным распределением материала по сечению.

Профили делятся также на два вида: открытые и закрытые (замкнутые). К **замкнутым профилям** относятся трубы. Круглые трубы бывают горячекатаные (ГОСТ 8732—78 с изменениями) диаметром 25—550 мм и толщиной стенки 2,5—75 мм и электросварные (ГОСТ 10704—91) диаметром не менее 25 мм и толщиной стенки не менее 2,5 мм.

Гнутые профили изготавливают из листа или полосы толщиной от 1 до 8 мм. Наиболее употребительны равнополочные и неравнополочные уголки, швеллеры, С-образные и Z-образные профили. Квадратные и прямоугольные трубы изготавливают на профилегибочном стане с последующей заваркой замыкающего шва в потоке стана.

Одним из видов гнутых профилей является **профилированный настил**, изготавливаемый на специальных станах, который нашел широкое применение в кровлях и стеновых ограждениях. Для изготовления профнастила применяют листы толщиной 0,6—1 мм.

Строительные профили из алюминиевых сплавов получают прокаткой, прессованием или литьем. Листы, ленты и плиты прокатываются в горячем или холодном состоянии. Листы прокатывают толщиной до 10,5 мм, шириной до 2000 мм и длиной до 7 м.

Фасонные профили, в том числе и полые (трубчатые), изготавливают горячим прессованием. Продавливая слитки через матрицы различных типов, получают профили практически любых сечений, однако габариты поперечного сечения профиля ограничиваются поперечными размерами матрицы и усилием, развиваемым прессом. Во многих случаях профили вписываются в круг диаметром 320мм. Гнутые профили изготавливают из листов и лент толщиной до 4 мм гнутом их в холодном состоянии.

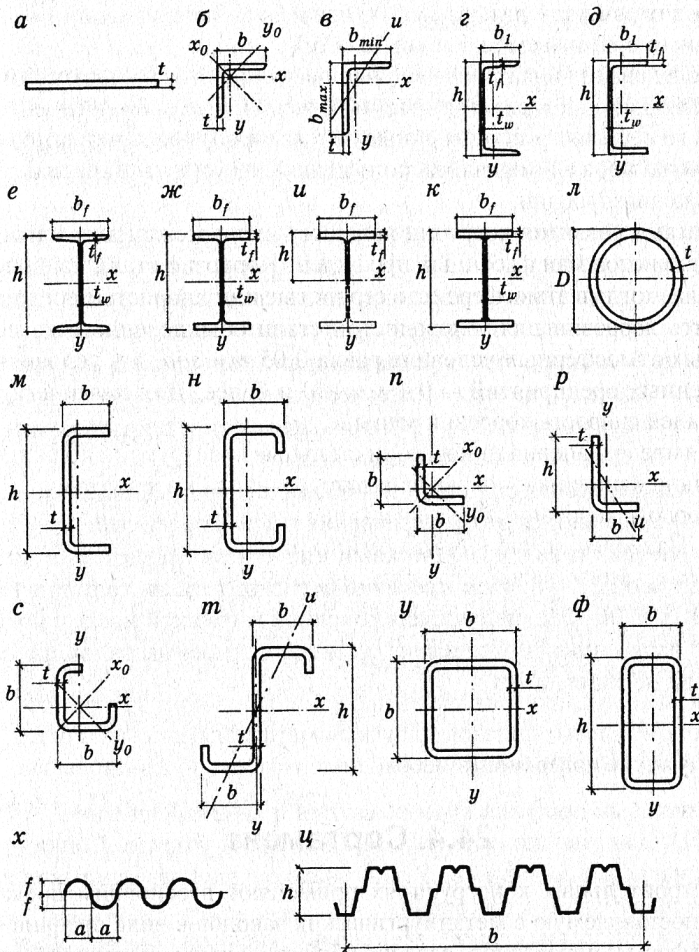


Рис. 24.5. Типы профилей:

a — лист; *б* — уголок равнополочный; *в* — уголок неравнополочный; *г* — швеллер; *д* — швеллер с параллельными гранями полок; *е* — двутавр обычный; *ж* — двутавр с параллельными гранями полок; *и* — тавр; *к* — сварной двутавр; *л* — круглая труба; *м* — гнутый швеллер; *н* — гнутый С-образный швеллер; *п* — гнутый равнополочный уголок; *р* — гнутый неравнополочный уголок; *с* — гнутый уголок с отбортовками; *т* — Z-образный гнутый профиль; *у* — квадратный гнутосварной профиль; *ф* — прямоугольный гнутосварной профиль; *х* — волнообразный настил; *ц* — трапецидальный профилированный лист