

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕМЕНТОВ НАРУЖНОЙ РЕКЛАМЫ**

Тема №2. Материалы для конструкций наружной  
рекламы

## 2.1 Общая характеристика сталей

---

- Сталь - это сплав железа с углеродом, содержащий легирующие добавки, улучшающие качество металла, и вредные примеси, которые попадают в металл из руды или образуются в процессе выплавки.
  - **Структура стали.** В твердом состоянии сталь является поликристаллическим телом, состоящим из множества различно ориентированных кристаллов (зерен). В каждом кристалле атомы (точнее - положительно заряженные ионы) расположены упорядочено в узлах пространственной решетки. Для стали характерны объемно-центрированная (ОЦК) и гранецентрированная (ГЦК) кубическая кристаллическая решетки. Каждое зерно как кристаллическое образование резко анизотропно и имеет различные свойства по разным направлениям. При большом числе хаотично ориентированных зерен эти различия сглаживаются и статистически в среднем по всем направлениям свойства становятся одинаковыми.
  - Структура стали зависит от условий кристаллизации, химического состава, режима термообработки и прокатки.
- 



- Температура плавления чистого железа равна  $1539^{\circ}\text{C}$ , при твердении образуются кристаллы  $\delta$ -железа с объемно-центрированной решеткой (рис. 2.1, а), при температуре  $1490^{\circ}\text{C}$  происходит перекристаллизация и  $\delta$ -железо переходит в  $\gamma$ -железо с гранецентрированной решеткой (рис. 2.1, б). При  $910^{\circ}\text{C}$  и ниже кристаллы  $\gamma$ -железа вновь превращаются в объемно-центрированные с сохранением такого состояния в обычных условиях. Последнюю модификацию называют  $\alpha$ -железом.
- После завершения процесса кристаллизации при остывании стали образуется твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе, называемый *аустенитом*, в котором атомы углерода располагаются в центре ГЦК-решетки. При температуре ниже  $910^{\circ}\text{C}$  начинается распад аустенита. Образующееся  $\alpha$ -железо с ОЦК-решеткой (феррит) плохо растворяет углерод. По мере выделения феррита аустенит обогащается углеродом и при температуре  $727^{\circ}\text{C}$  превращается в *перлит* - смесь феррита и карбида железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ , называемого *цементитом*. Таким образом, при нормальной температуре сталь состоит из двух основных фаз - *феррита* и *цементита*, которые образуют самостоятельные зерна, а также входят в виде пластинок в состав перлита.

- Феррит весьма пластичен и малопрочен, цементит тверд и хрупок, перлит обладает промежуточными между ними свойствами. В зависимости от содержания углерода преобладает та или иная структурная составляющая. Величина зерен феррита и перлита зависит от числа очагов кристаллизации и условий охлаждения. Размер зерна существенно влияет на механические свойства стали (чем мельче зерно, тем выше качество металла).
- Легирующие добавки, растворяясь в феррите, упрочняют его. Кроме того, некоторые из них, образуя карбиды и нитриды, увеличивают число очагов кристаллизации и способствуют образованию мелкозернистой структуры.
- Под влиянием термической обработки изменяются структура, величина зерна и растворимость легирующих элементов, что приводит к изменению свойств стали.
- Простейшим видом термической обработки является *нормализация*. Она заключается в повторном нагреве проката до температуры образования аустенита и последующего охлаждения на воздухе. После нормализации структура стали получается более упорядоченной, что приводит к улучшению прочности и пластических свойств стального проката.



- При быстром остывании стали, нагретой до температуры, превышающей температуру фазового превращения, сталь закаливается. Структуры образующиеся после закалки, придают стали высокую прочность, но пластичность ее снижается, а склонность к хрупкому разрушению повышается. Для регулирования механических свойств закаленной стали и образования желаемой структуры производится ее отпуск, т.е. нагрев до температуры, ниже температуры фазовых превращений, выдержка при этой температуре в течение необходимого времени и затем медленное остывание.
- При прокатке, в результате обжатия, структура стали меняется. Происходит - размельчение зерен и различное их ориентирование вдоль и поперек проката, что приводит к определенной анизотропии свойств. Существенное влияние оказывают также температура прокатки и скорость охлаждения. При высокой скорости охлаждения возможно образование закалочных структур, что приводит к повышению прочностных свойств стали. Чем толще прокат, тем меньше степень обжатия и скорость охлаждения. Поэтому с увеличением толщины проката прочностные характеристики снижаются.
- Таким образом, варьируя химический состав, режимы прокатки и термообработки, можно изменить структуру и получить сталь с заданными прочностными и другими свойствами.



- Сталь, применяемую в рекламных конструкциях, производят в основном двумя способами: в *мартеновских печах и конвертерах* с поддувкой кислородом сверху. Свойства мартеновских и кислородно-конвертерных сталей практически одинаковы, однако кислородно-конвертерный способ производства значительно дешевле и постепенно вытесняет мартеновский. Для наиболее ответственных деталей, где требуется особо высокое качество металла, используются также стали, получаемые путем электрошлакового переплава (ЭШП). С развитием электрометаллургии возможно более широкое применение в строительстве сталей, получаемых в электропечах. *Электросталь* отличается низким содержанием вредных примесей и высоким качеством.
- Для рекламных конструкций в основном используют прокатную сталь. Для висячих и предварительно напряженных конструкций применяют тросы, пучки высокопрочной проволоки и стержни из арматурной стали. В опорных частях тяжелых конструкций при действии больших сжимающих усилий используют отливки из литой углеродистой стали и серого чугуна.



□ **Служебные свойства стали.** Надежность и долговечность металлических 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 сохранять несущую способность в процессе деформирования. **Хрупкость** - склонность к разрушению при малых деформациях. **Ползучесть** - свойство материала непрерывно деформироваться во времени без увеличения нагрузки. **Твердость** - свойство поверхностного слоя металла сопротивляться деформации или разрушению при внедрении в него индентора из более твердого материала.

□ Прочность металла при статическом нагружении, а также его упругие и пластические свойства определяют испытанием стандартных образцов (прямоугольного или круглого сечения) на растяжение с записью диаграммы зависимости между напряжением  $\sigma$  и относительным удлинением  $\varepsilon$ .

$$\sigma = \frac{F}{A}; \quad \varepsilon = \left( \frac{\Delta l}{l_0} \right) \cdot 100\%$$

□ где  $F$  - нагрузка;  $A$  - первоначальная площадь поперечного сечения образца;  $l_0$  - первоначальная длина рабочей части образца;  $\Delta l$  - удлинение рабочей части образца.

- Основными прочностными характеристиками металла являются временное сопротивление  $\sigma_{\text{и}}$  и предел текучести  $\sigma_{\text{у}}$ . *Временное сопротивление* - это предельная разрушающая нагрузка, отнесенная к первоначальной площади поперечного сечения образца.
- *Предел текучести  $\sigma_{\text{у}}$*  - напряжение, которое соответствует остаточному относительному удлинению после разгрузки, равному 0,2%. В мягких сталях при таком напряжении начинается интенсивный процесс развития деформаций, они растут без изменения нагрузки с образованием площадки текучести - металл "течет". Для сталей, не имеющих площадки текучести, вводят понятие *условного предела текучести  $\sigma_{0.2}$* , величину которого определяют по тем же правилам.
- Если металл подвергается действию циклических напряжений (например, чередующихся растяжения и сжатия), то при достаточно большом числе циклов разрушение может произойти при напряжении меньше временного сопротивления и даже предела текучести. Это явление называют *усталостью* металла. Склонность металла к усталостному разрушению устанавливают на основании результатов вибрационных испытаний.





□ Мерой пластичности материала служит относительное остаточное удлинение при разрыве  $\delta$ . Перед разрушением в образце в месте разрыва образуется "шейка", поперечное сечение образца уменьшается и в зоне шейки развиваются большие местные пластические деформации.

Относительное удлинение при разрыве складывается из равномерного удлинения на всей длине образца  $\delta_r$  и локального удлинения в зоне шейки  $\delta_{loc}$ . Последнее зависит от размеров и формы образца, наличия местных дефектов и других случайных факторов, поэтому более показательной характеристикой пластичности является *равномерное относительное удлинение  $\delta_r$* . Мерой пластичности может служить также *относительное сужение при разрыве*

$$\varepsilon = \frac{(A - A_0)}{A}$$

□  $A$  и  $A_0$  - первоначальная и конечная после разрыва площади сечения образца.

- **Упругие свойства материала** характеризуют *модулем упругости  $E = \operatorname{tg} \alpha$*  ( $\alpha$  - угол наклона начального участка диаграммы работы стали к оси абсцисс) и *пределом упругости  $\sigma_c$* , т. е. таким максимальным напряжением, после снятия которого остаточные деформации отсутствуют.
- Несколько ниже  $\sigma_c$  находится *предел пропорциональности  $\sigma_p$*  - напряжение, до которого материал работает линейно по закону Гука.

$$\sigma = E\varepsilon$$

- В известной степени  $\sigma_c$  и  $\sigma_p$  являются условными напряжениями, их значения зависят от точности определения. Обычно принимают, что предел пропорциональности соответствует напряжениям, при которых  $E = \operatorname{tg} \alpha$  уменьшается в 1,5 раза, а предел упругости - напряжениям, при которых относительная остаточная деформация составляет 0,05%.
- Склонность металла к хрупкому разрушению оценивают по результатам испытания на ударную вязкость на специальных маятниковых копрах. Под действием удара молота копра образец разрушается. Ударную вязкость КС измеряют работой, затраченной на разрушение образца. Эта работа, отнесенная к площади поперечного сечения, имеет размерность Дж/см<sup>2</sup>.
- Ударная вязкость является комплексным показателем, характеризующим состояние материала (хрупкое или вязкое), сопротивление динамическим (ударным) воздействиям, чувствительность к концентрации напряжений. Она служит для сравнительной оценки качества стали.

- **Ползучесть в металлах**, применяемых в рекламных конструкциях, проявляется при высоких температурах. Оценку степени ползучести производят по результатам длительных испытаний образцов на растяжение.
- Основным способом соединения элементов стальных конструкций - сварка, поэтому важнейшим требованием, предъявляемым к сталям для рекламных конструкций, является *свариваемость*. Оценку свариваемости производят по химическому составу, а также путем применения специальных технологических проб.
- Долговечность стальных конструкций определяется в первую очередь их *коррозионной стойкостью*. Сопротивляемость стали коррозионному разрушению зависит от химического состава, ее проверяют путем длительной выдержки образцов в агрессивной среде. Мерой коррозионной стойкости служит скорость коррозии по толщине металла в мм/год.
- При изготовлении и монтаже конструкций широко используют такие операции, как гибка, резка, сверление отверстий и т.д. Они связаны с процессами упругопластического изгиба, скалывания, обработки резанием, термическим воздействием. Для качественного выполнения этих операций металл должен иметь соответствующие технологические свойства. Оценку технологических свойств металла производят по химическому составу. В зависимости от содержания отдельных элементов устанавливают также режим *огневой резки и сварки*.
- Влияние пластических деформаций и термического воздействия на охрупчивание металла определяют по результатам испытаний *на ударную вязкость после искусственного старения*. Для этого образец подвергают растяжению до остаточного удлинения в 10% с последующим отпуском в печи при температуре 250°С.
- Для предотвращения возникновения трещин при изготовлении гнутых деталей проводят испытания на холодный изгиб. Плоский образец загибают на 180° вокруг оправки определенного диаметра, при этом на внешней стороне образца не должны появляться трещины. Испытание даст качественную оценку вязкости металла. Диаметр оправки устанавливают в зависимости от толщины образца.



## 2.3 Классификация сталей, используемых в наружной рекламе

---

- По прочностным свойствам стали условно делят на три группы: обычной прочности ( $\sigma_y < 29 \text{ кН/см}^2$ ); повышенной прочности ( $29 \text{ кН/см}^2 \leq \sigma_y < 40 \text{ кН/см}^2$ ); высокой прочности ( $\sigma_y > 40 \text{ кН/см}^2$ ).
  - Повышение прочности стали достигается легированием и термической обработкой.
  - **По химическому составу** стали подразделяют на углеродистые и легированные. *Углеродистые стали* обыкновенного качества состоят из железа и углерода с некоторой добавкой кремния (или алюминия) и марганца. Прочие добавки (медь, хром и т.д.) специально не вводятся и могут попасть в сталь из руды.
  - *Углерод*, повышая прочность стали, снижает ее пластичность и ухудшает свариваемость, поэтому для строительных металлических конструкций применяют только низкоуглеродистые стали с содержанием углерода не более 0,22%.
  - В состав легированных сталей помимо железа и углерода входят специальные добавки, улучшающие их качество. Поскольку большинство добавок в той или иной степени ухудшают свариваемость стали, а также удорожают ее, поэтому в основном применяют *низколегированные стали* с суммарным содержанием легирующих добавок не более 5%.
  - Основными легирующими добавками являются кремний (С), марганец (Г), медь (Д), хром (Х), никель (Н), ванадий (Ф), молибден (М), алюминий (Ю), азот (А). Состав легирующих добавок указывают в наименовании стали: первые две цифры в марке стали соответствуют содержанию углерода в сотых долях процента, далее перечисляют добавки и их содержание с округлением до целых процентов, цифру 1 при этом обычно не проставляют. Например: 09Г2С, 14Г2АФ.
- 



- ▣ *Кремний* раскисляет сталь, т.е. связывает избыточный кислород и повышает ее прочность, но снижает пластичность, ухудшает при повышенном содержании свариваемость и коррозионную стойкость. Вредное влияние кремния может компенсироваться повышенным содержанием марганца.

---

- ▣ *Марганец* повышает прочность, является хорошим раскислителем и, соединяясь с серой, снижает ее вредное влияние. При содержании марганца более 2,0% сталь становится хрупкой.
- ▣ *Медь* несколько повышает прочность стали и увеличивает ее стойкость против коррозии. Избыточное содержание меди (более 0,7%) способствует старению стали и повышает ее хрупкость.
- ▣ *Хром и никель* повышают прочность стали без снижения пластичности и улучшают ее коррозионную стойкость.
- ▣ *Алюминий* хорошо раскисляет сталь, нейтрализует вредное влияние фосфора, повышает ударную вязкость.
- ▣ *Ванадий и молибден* увеличивают прочность почти без снижения пластичности, предотвращают разупрочнение термообработанной стали при сварке.
- ▣ *Азот* в несвязанном состоянии способствует старению стали и делает ее хрупкой, поэтому его должно быть не более 0,009%. В химически связанном состоянии с алюминием, ванадием, титаном и другими элементами, образуя нитриды, становится легирующим элементом, способствуя получению мелкозернистой структуры и улучшению механических свойств.



- *Вредные примеси* - к ним в первую очередь относится *фосфор*, который, растворяясь в феррите, повышает хрупкость стали, особенно при пониженных температурах (*хладоломкость*). Однако при наличии алюминия фосфор может служить легирующим элементом, повышающим коррозионную стойкость стали. На этом основано получение атмосферостойких сталей.
- *Сера* вследствие образования легкоплавкого сернистого железа, делает сталь *красноломкой* (склонной к образованию трещин при температуре 800-1000° С). Это особенно опасно для сварных конструкций. Вредное влияние серы снижается при повышенном содержании марганца. Содержание серы и фосфора в стали ограничивается и должно быть не более 0,03...0,05%.
- Вредное влияние на механические свойства стали оказывает насыщение ее газами, которые могут попасть из атмосферы в металл, находящийся в расплавленном состоянии. Кислород действует подобно сере, но в более сильной степени и повышает хрупкость стали. Несвязанный азот также снижает качество стали. Водород хотя и удерживается в незначительном количестве (0,0007%), но, концентрируясь около включений в межкристаллических областях и располагаясь преимущественно по границам зерен, вызывает в микрообъемах высокие напряжения, что приводит к снижению сопротивления стали хрупкому разрушению, снижению временного сопротивления и ухудшению пластических свойств. Поэтому расплавленную сталь (например, при сварке) необходимо защищать от воздействия атмосферы.



□ В зависимости **от вида поставки** стали подразделяют на горячекатаные и термообработанные (нормализованные или термически улучшенные). В горячекатаном состоянии сталь далеко не всегда обладает оптимальным комплексом свойств. При нормализации измельчается структура стали, повышается ее однородность, увеличивается вязкость, однако существенного повышения прочности не происходит. Термическое улучшение (закалка в воде и высокотемпературный отпуск) позволяют получить стали высокой прочности, хорошо сопротивляющиеся хрупкому разрушению. Существенное снижение затрат по термической обработке стали можно получить, если проводить закалку непосредственно с прокатного нагрева.

□ **По степени раскисления** стали могут быть

▶ *кипящими, полуспокойными, спокойными.*

- **Нормирование сталей.** Основным стандартом, регламентирующим характеристики сталей для строительных металлических конструкций, является ГОСТ 27772 - 88.

---

Согласно ГОСТу, фасонный прокат изготавливают из сталей С235, С245, С255, С275, С285, С345, С345к, С375, для листового и универсального проката и гнутых профилей используются также стали С390, С390К, С440 и С590К. Стали С345, С375, С390 и С440 могут поставляться с повышенным содержанием меди (для улучшения коррозионной стойкости) при этом к обозначению стали добавляют букву Д.

- Прокат поставляют как в горячекатаном, так и в термообработанном состоянии. Выбор варианта химического состава и вида термообработки определяется заводом. Главное - обеспечение требуемых свойств. Так, листовой прокат стали С345 может изготавливаться из стали с химическим составом С245 с термическим улучшением. В этом случае к обозначению стали добавляют букву Т, например С345Т.
  - Прокат поставляют партиями. Партия состоит из проката одного размера, одной плавки-ковша и одного режима термообработки
- 





□ **Стали обычной прочности.** К этой группе относят низкоуглеродистые стали (С235...С285) различной степени раскисления, поставляемые в горячекатаном состоянии. Обладая относительно небольшой прочностью, эти стали очень пластичны: протяженность площадки текучести составляет 2,5% и больше, соотношения  $\sigma_y / \sigma_{0,2} \gg 0,6 \dots 0,7$ . Хорошая свариваемость обеспечивается низким содержанием углерода (не более 0,22%) и кремния. Коррозионная стойкость - средняя, поэтому конструкции, выполненные из сталей обычной прочности, следует защищать с помощью лакокрасочных и других покрытий. Однако благодаря невысокой стоимости и хорошим технологическим свойствам стали обычной прочности очень широко применяют для рекламных металлических конструкций. Потребление этих сталей составляет свыше 50% от общего объема. Недостатком низкоуглеродистых сталей является склонность к хрупкому разрушению при низких температурах (особенно для кипящей стали С235), поэтому их применение в конструкциях, эксплуатирующихся при низких отрицательных температурах, ограничено.

- **Стали повышенной прочности.** Стали повышенной прочности (С345...С390) получают либо введением при выплавке стали легирующих добавок, в основном марганца и кремния, реже никеля и хрома, либо термоупрочнением низкоуглеродистой стали (С345Т). Пластичность стали при этом несколько снижается и протяженность площадки текучести уменьшается до 1...1,5%.
- Стали повышенной прочности несколько хуже свариваются (особенно стали с высоким содержанием кремния) и требуют иногда использования специальных технологических мероприятий для предотвращения образования горячих трещин.
- По коррозионной стойкости большинство сталей этой группы близки к низкоуглеродистым сталям. Более высокой коррозионной стойкостью обладают стали с повышенным содержанием меди (С345Д, С375Д, С390Д).
- Мелкозернистая структура низколегированных сталей позволяет значительно повысить их сопротивление хрупкому разрушению.



- **Стали высокой прочности.** Прокат из стали высокой прочности (С440...С590) получают, как правило, путем легирования и термической обработки. Для легирования используют нитридообразующие элементы, способствующие образованию мелкозернистой структуры.
- Применение сталей высокой прочности приводит к экономии металла до 25...30% по сравнению с конструкциями из низкоуглеродистых сталей и особенно целесообразно в большепролетных и тяжело нагруженных конструкциях.
- **Атмосферостойкие стали.** Для повышения коррозионной стойкости металлических конструкций применяют низколегированные стали, содержащие в небольшом количестве (доли процента) такие элементы, как хром, никель и медь.
- В конструкциях, подвергающихся атмосферным воздействиям, весьма эффективны стали с добавкой фосфора (например, сталь С345к). На поверхности таких сталей образуется тонкая оксидная пленка, обладающая достаточной прочностью и защищающая металл от развития коррозии. Однако свариваемость стали при наличии фосфора ухудшается. Кроме того, в прокате больших толщин металл обладает пониженной хладостойкостью, поэтому применение стали С345к рекомендуют при толщинах не более 10 мм.



## 2.3 Выбор стали для металлических конструкций

---

- Выбор стали производят на основе вариантного проектирования и технико-экономического анализа с учетом требований норм. В целях упрощения заказа металла при выборе стали следует стремиться к большей унификации конструкций, сокращению количества сталей и профилей. Выбор стали зависит от следующих факторов, влияющих на работу материала:
  - - температуры среды, в которой монтируется и эксплуатируется конструкция; этот фактор учитывает повышенную опасность хрупкого разрушения при пониженных температурах;
  - - характера нагружения, определяющего особенность работы материала и конструкций при динамической, вибрационной и переменной нагрузках;
  - - вида напряженного состояния (одноосное сжатие или растяжение, плоское или объемное напряженное состояние) и уровня возникающих напряжений (сильно или слабо нагруженные элементы);
  - - способа соединения элементов, определяющего уровень собственных напряжений, степень концентрации напряжений и свойства материала в зоне соединения;.
  - - толщины проката, применяемого в элементах. Этот фактор учитывает изменение свойств стали с увеличением толщины.
- 



- При выборе стали необходимо учитывать группу конструкций
  - К *первой группе* относят сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях или подвергающиеся непосредственному воздействию динамических, вибрационных или подвижных нагрузок (например, подкрановые балки, балки рабочих площадок или элементы эстакад, непосредственно воспринимающих нагрузку от подвижных составов, фасонки ферм и т.д.). Напряженное состояние таких конструкций характеризуется высоким уровнем и большой частотой нагружения.
  - Конструкции первой группы работают в наиболее сложных условиях, способствующих возможности их хрупкого или усталостного разрушения, поэтому к свойствам сталей для этих конструкций предъявляются наиболее высокие требования.
  - Ко *второй группе* относят сварные конструкции, работающие на статическую нагрузку при воздействии одноосного и однозначного двухосного поля растягивающих напряжений (например, фермы, ригели рам, балки перекрытий и другие растянутые, растянуто-изгибаемые и изгибаемые элементы), а также конструкции второй группы при отсутствии сварных соединений.
  - Общим для конструкций этой группы является повышенная опасность хрупкого разрушения, связанная с наличием поля растягивающих напряжений. Вероятность усталостного разрушения здесь меньше, чем для конструкций первой группы.
- 



- К третьей группе относят сварные конструкции, работающие при преимущественном воздействии сжимающих напряжений (например, колонны, стойки, опоры под оборудование и другие сжатые и сжато-изгибаемые элементы), а также конструкции второй группы при отсутствии сварных соединений.
  - В четвертую группу включены вспомогательные конструкции и элементы (связи, элементы фахверка, лестницы, ограждения и т.п.), а также конструкции третьей группы при отсутствии сварных соединений.
  - Если для конструкций третьей и четвертой групп достаточно ограничиться требованиями к прочности при статических нагрузках, то для конструкций первой и второй групп важным является оценка сопротивления стали динамическим воздействиям и хрупкому разрушению.
  - В материалах для сварных конструкций обязательно следует оценивать свариваемость. Требования к элементам конструкций, не имеющим сварных соединений, могут быть снижены, так как отсутствие полей сварочных напряжений, более низкая концентрация напряжений и другие факторы улучшают их работу.
  - В пределах каждой группы конструкций, в зависимости от температуры эксплуатации к сталям предъявляют требования по ударной вязкости при различных температурах.
- 



- В нормах содержится перечень сталей и зависимости от группы конструкций и климатического района строительства.
- Окончательный выбор стали в пределах каждой группы должен выполняться на основании сравнения технико-экономических показателей (расхода стали и стоимости конструкций), а также с учетом заказа металла и технологических возможностей завода-изготовителя. В составных конструкциях (например, составных балках, фермах и т.п.) экономически целесообразно применение двух сталей - более высокой прочности для сильно нагруженных элементов (пояса ферм, балок) и меньшей прочности для слабо нагруженных элементов (решетка ферм, стенки балок).
- Приведенный подход к выбору сталей используют для конструкций массового применения.



## 2.4 Общая характеристика алюминиевых сплавов

---

- Основными особенностями, отличающими алюминиевые конструкции от стальных, и способствующими их применению, являются: распространенность алюминия в природе (алюминий в различных соединениях находится на четвертом месте после кислорода, водорода и кремния и на первом месте среди металлов); малая масса (плотность алюминиевых сплавов по сравнению со сталью меньше почти в три раза) и высокая коррозионная стойкость; высокая технологичность, хорошая свариваемость и обрабатываемость. Простота образования профилей любой формы и даже переменного сечения — прессованием или холодной гибкой листов; отсутствие искрообразования при ударе и магнитных свойств.
  - К недостаткам алюминиевых сплавов следует отнести: меньший (почти в три раза, чем у стали) модуль упругости, снижающий эффективность их применения в конструкциях, где определяющим является расчет по деформациям; высокий коэффициент линейного расширения ( $23 \cdot 10^{-6}$  на  $1^\circ\text{C}$ ), что отражается на работе конструкций, испытывающих температурные воздействия; трудность получения равнопрочных основному металлу сварных соединений, приводящая к необходимости использования заклепочных, болтовых и клеевых соединений. Существенно сдерживает применение алюминиевых сплавов в настоящее время их пока еще высокая стоимость (по сравнению со сталью в 7-8 раз).
- 





- Алюминий в чистом виде не пригоден для применения в конструкциях наружной рекламы из-за низкой механической прочности. Для улучшения физико-механических свойств алюминия в него добавляют легирующие элементы: Mg, Mn, Cu, Zn, Si, Ni, Cr и др. Их содержание в алюминиевых сплавах может достигать 20%.
- В соответствии со способами получения изделий алюминиевые сплавы делятся на *деформируемые*, т. е. сплавы, обрабатываемые давлением — для изготовления листов, профилей, труб, проволоки; *литейные* — для фасонных отливок.
- Деформируемые сплавы по наличию легирующих компонентов делятся на следующие композиции:
- Al - Mn - алюминиево-марганцевая — АМц; Al — Mg — алюми-ниево-магниевая (магналии) - АМг; Al - Mg - Si - авиали - АД; Al - Cu - Mg - дюралюмины - Д; Al — Zn - Mg - алюминиево-цинко-магниевая.



- Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов наряду с химическим составом определяются состоянием их поставки, т.е. видом их термической или механической обработки. Сплавы, включающие композиции Al-Mn и Al<sub>7</sub>Mg, поставляются без термического упрочнения и их механические характеристики улучшают холодной обработкой - *нагартовкой* - ударной обработкой струей быстролетящей чугунной или стальной дроби, а также обкаткой роликами. Нагартовка способствует увеличению прочности и снижению пластичности сплавов.
- Термически упрочненными поставляются сплавы, состоящие из композиций Al-Mg-Si; Al-Cu-Mg; Al-Zn-Mg.
- Термическая обработка включает два процесса - закалку и старение. *Закалка* заключается в нагреве алюминиевых сплавов до температуры 450-520°C и быстром охлаждении в воде, или масле при температуре не ниже 20°C. *Старение* выполняют по двум режимам: естественное старение — выдержка сплава при  $t = 20-30^\circ\text{C}$  до 30 суток; искусственное старение — нагрев до 150°C и выдержка в течение нескольких часов. Предел прочности термически упрочненных сплавов возрастает в 1,5-2 раза при незначительном ухудшении пластических свойств.



- Состояние поставки деформируемых сплавов отражается в марках введением букв и цифр: М — отожженный (мягкий); П2 — полунагартованный, Н — нагартованный, Т - закаленный и естественно состаренный, Т1 - закаленный и искусственно состаренный, Т4 - не полностью закаленный и естественно состаренный; Т5 - не полностью закаленный и искусственно состаренный.
- Маркировка алюминиевых сплавов в соответствии со СНиП включает буквенное обозначение сплава и состояние поставки. Кроме указанной маркировки применяют четырехзначные числовые обозначения сплавов в соответствии с ГОСТ 4784 - 89. В них первая цифра означает основу металла - алюминий; вторая показывает легирующую композицию (например 1 - соответствует дюралюминам; 3 — авиалам; 4 - композициям Al-Mn). Последние две цифры в обозначении сплава соответствуют его номеру в системе обозначений, причем деформируемые сплавы имеют последнюю цифру нечетную или ноль, а литейные - четную.
- В табл. 2.2 приведены маркировка, стандарты и номинальный химический состав некоторых алюминиевых сплавов, рекомендуемых для применения в рекламных конструкциях.



Таблица 2.2 - Маркировка и номинальный химический состав алюминиевых сплавов

Обозначение сплава			Содержание, % (по массе)						
Буквенное	ГОСТ	Цифровое по ГОСТ 4784-89	Al	Mg	Mn	Si	Zn	Zr	Cr
АД1М	21631-76 13726-78	1013	99,3	-	-				
АМцМ	21631-76 13726-78	1400	Основа	0,05	1,3	0,6	0,1	-	-
АМг2М; АМг2Н2	21631-76 13726-78 18475-82	1520	÷	2,2	0,4	0,4	0,1	-	-
АД31Т; АД31Т1; АД31Т4; АД31Т5	8617-81 18482-79 22233-83	1310	÷	0,4-0,9	0,1	0,3-0,7	<0,2	-	-
АЛ8	2685-75		÷	10,5	-	-	-	-	-
АЛ9	2685-75		÷	0,3	-	7	-	-	-

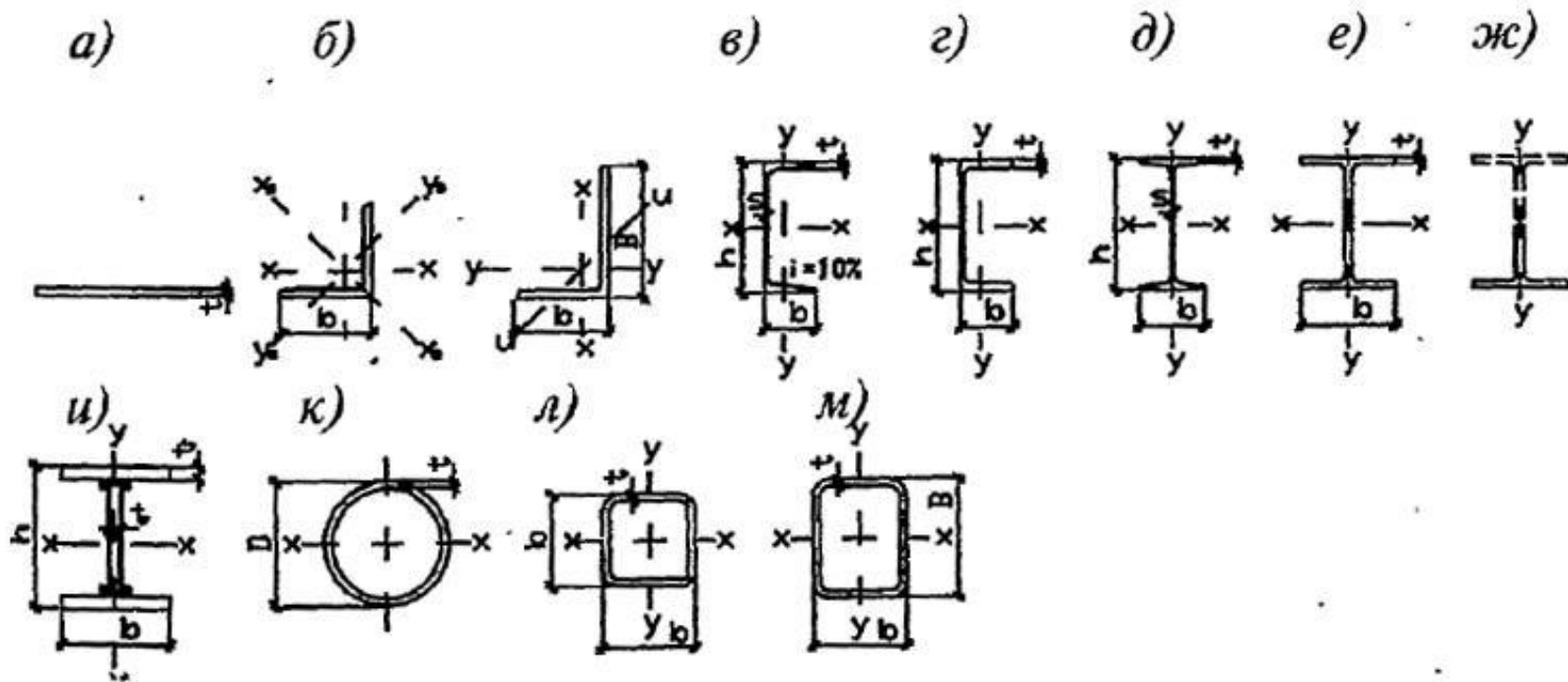
При достаточном технико-экономическом обосновании и после испытания в опытных конструкциях допускается применять сплавы других марок и состояний, например АДО; АМг4, АМг5, АМг6 (композиция Al-Mg); АД33, АД35; АД (композиция Al-Mg-Si); Д1, Д16 (композиция Al-Cu-Mg) и др.

## 2.5 Сортамент

---

- **Общая характеристика сортамента.** В конструкциях применяют в основном прокатную сталь, поставляемую с металлургических заводов в виде профилей различной формы поперечного сечения. Для стальных конструкций используют *листовую и профильную сталь*. Профильную сталь подразделяют на сортовую (круг, квадрат, полоса, уголки) и фасонную (двутавры, швеллеры и другие фасонные профили). Кроме того, широко применяют вторичные профили: *сварные*, получаемые сваркой полос или листов, и *гнутые*, образованные холодной гибкой полос и листов (рис. 2.2).
- Каталог поставляемых профилей с указанием их формы, размеров, геометрических характеристик и массы называют сортаментом и оформляют в виде государственных стандартов (ГОСТов) или 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.





**Рис. 2.2 - Основные виды профилей:**

а - лист; б - уголки; в - швеллер; г - швеллер с параллельными гранями полок;  
 д - двутавр; е - двутавр с параллельными гранями полок; ж - тавр; и - сварной двутавр;  
 к - круглая труба; л - квадратный гнутозамкнутый профиль;  
 м - прямоугольный гнутозамкнутый профиль

- **Сталь листовая.** Листовую сталь широко применяют в строительстве. Ее классифицируют следующим образом.
- • *Сталь толстолистовая* (ГОСТ 19903-74). Сортамент этой стали включает листы толщиной от 4 до 160 мм, шириной от 600 до 3800 мм. Обычно применяемая ширина не превышает 2400 мм. Листовая горячекатаная сталь поставляется в листах длиной 6...12 м и толщиной до 160 мм или в рулонах толщиной от 1,2 до 12 мм и шириной от 500 до 2200 мм. В строительных конструкциях рекомендуется применять следующие толщины листовой стали, от 4 до 6 мм - через 1 мм, от 6 до 22 мм - через 2 мм и далее 25, 28, 30, 32, 36, 40, 50, 60, 80, 100 мм. Толстолистовую сталь используют в листовых конструкциях и сплошностенчатых элементах стержневых конструкций (балках, колоннах).
- • *Сталь тонколистовая* толщиной до 4 мм прокатывается холодным и горячим способами. Холоднокатаная сталь (ГОСТ 19904-74) значительно дороже горячекатаной (ГОСТ 19903-74). Тонкую листовую сталь применяют при изготовлении гнутых и штампованных тонкостенных профилей, для кровельных покрытий и т.п. Из холоднокатаной, оцинкованной, рулонированной стали изготавливают профилированные настилы.
- • *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. Применение универсальной стали уменьшает отходы и снижает трудоемкость изготовления конструкций, так как не требует резки и выравнивания кромок.
- • *Сталь полосовая* (ГОСТ 103-76, с изм.) имеет толщину от 4 до 60 мм при ширине до 200 мм. Ее применяют для конструктивных деталей типа ребер жесткости, а также для изготовления гнутых профилей.
- • *Рифленая сталь* (ГОСТ 8568-77) толщиной от 2,5 до 8 мм с ромбическими или чечевицеобразными выступами, препятствующими скольжению при ходьбе используется для настилов площадок.



**Угловые профили** прокатывают в виде равнополочных (ГОСТ 8509-93) и неравнополочных (ГОСТ 8510-86) уголков. Сортамент уголков весьма обширен: от очень малых профилей с площадью сечения  $1...1,5 \text{ см}^2$  до мощных профилей с площадью сечения  $140 \text{ см}^2$ . Полки уголков имеют параллельные грани, что облетает конструирование. Тонкие уголки рациональны в элементах, работающих на осевое сжатие. Чем тоньше полки уголков, тем больше (при одинаковой площади сечения) радиус инерции  $i$ , от которого зависит несущая способность элемента.

Для растянутых элементов толщина уголков с точки зрения их несущей способности не имеет значения, но и в этом случае тонкие уголки предпочтительнее, поскольку более развитое сечение имеет большую жесткость и удобнее при транспортировке и монтаже. Если же полки уголков подвергаются изгибу, например при опирании на них плит перекрытий, то применяют толстые уголки. Уголки нашли широкое применение в решетчатых конструкциях, прежде всего в фермах. Сечения элементов решетчатых конструкций компонуют часто из двух или четырех уголков (рис. 2.3).

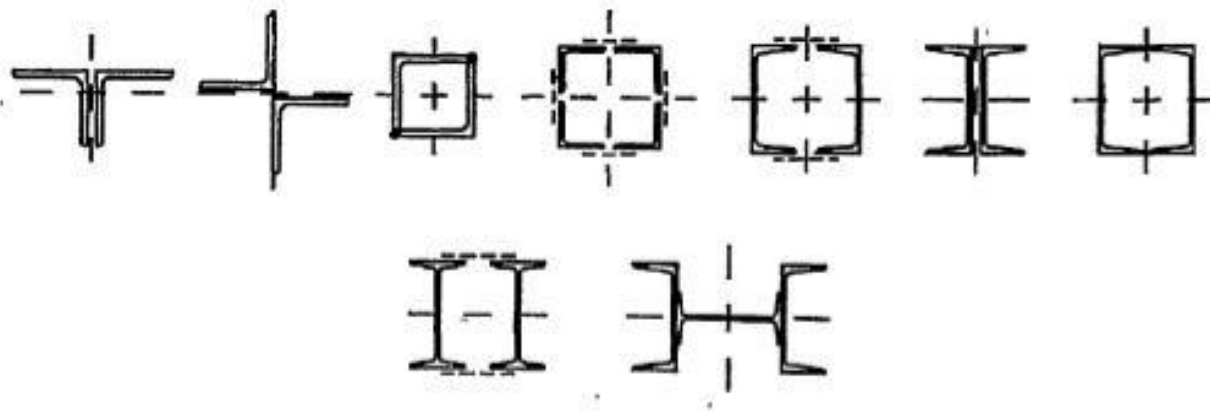


Рис. 2.3 – Компоновка сечений стержней из прокатных профилей




- **Швеллеры.** Геометрические характеристики сечения швеллеров определяют по номерам, которые соответствуют высоте сечения швеллера (в см). Сортамент (ГОСТ 8240-93) включает швеллеры от №5 до №40 с уклоном внутренних граней полок. Уклон внутренних граней полок затрудняет конструирование. В ГОСТ входят и швеллеры с параллельными гранями полок с буквой П в обозначении, например 22П, сечения которых имеют лучшие расчетные характеристики и более конструктивны, так как упрощают болтовые крепления к полкам.
- Швеллеры используют в элементах, работающих на изгиб, например в прогонах покрытий зданий. В конструкциях, работающих на осевые силы, швеллеры применяют в основном в виде составных сечений, соединенных планками или решеткой, например в колоннах и поясах тяжелых ферм (рис. 2.3). Возможно применение швеллеров для коробчатых сечений со сваркой полок сплошными швами. Использование прерывистых шпоночных швов весьма проблематично, поскольку помимо повышенной концентрации напряжений в концах шпонок в таком сечении внутренняя полость не герметизирована, что может способствовать развитию коррозии.



- **Двутавр** - наиболее рациональный профиль для элементов, работающих на изгиб, поскольку он имеет по сравнению с другими профилями наибольший удельный момент сопротивления ( $W$ — момент сопротивления;  $A$  — площадь сечения).

---

  - В зависимости от геометрических параметров металлургическими заводами выпускаются несколько типов двутавров, которым соответствуют определенные области применения.
  - • *Балки двутавровые обыкновенные* (ГОСТ 8239-89), так же как и швеллеры, имеют уклон внутренних граней полков и обозначаются номером, соответствующим их высоте в см. В сортамент входят профили от №10 до №70. Стенки крупных двутавров имеют толщину, составляющую  $1/55$  высоты двутавра. Чем тоньше стенка, тем выгоднее сечение балки при работе ее на изгиб. Однако по условиям технологии прокатки у большинства двутавров стенки получаются значительно толще, чем это требуется по условию их устойчивости. Благодаря сосредоточению материала в полках двутавры имеют большую жесткость относительно оси  $x$ , но небольшая ширина полков делает их недостаточно устойчивыми относительно оси  $y$ . Обыкновенные двутавры применяют в элементах, изгибаемых в плоскости стенки, а также в ветвях решетчатых колонн и различных опор. Для обеспечения устойчивости относительно оси  $y$  эти двутавры должны иметь промежуточные закрепления.
- 
- 

- • *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  $b/h = 0,75$  (при малых высотах) до  $b/h = 0,3$  (при больших высотах). Колонные профили (К) имеют отношение ширины полок к высоте, близкое к единице, что придает им устойчивость относительно оси  $y$ . Благодаря большей ширине полок широкополочные двутавры имеют большую жесткость относительно оси  $y$  и могут применяться в конструкциях без дополнительных закреплений.
- Конструктивные преимущества (параллельность граней полок и мощность сечений) позволяют применять широкополочные двутавры в виде самостоятельного элемента (балки, колонны, стержни тяжелых ферм), не требующего почти никакой обработки, что снижает трудоемкость изготовления конструкций в 2...3 раза.
- Из широкополочных двутавров путем разрезки полки в продольном направлении получают тавровые профили, удобные для применения в решетчатых конструкциях. По мере расширения производства широкополочных двутавров применение обыкновенных двутавров сокращается.
- Использование автоматической сварки позволяет изготавливать тонкостенные двутавры из листового проката с более выгодным распределением материала по сечению. Сварные двутавры имеют свой сортамент.



- **Трубы.** В трубах материал распределен на максимальном удалении от центра тяжести, поэтому из всех типов сечения трубчатое имеет наибольший удельный радиус инерции  $\bar{i} = i/\sqrt{A}$ . Наиболее рационально применение труб в элементах, работающих на осевое сжатие. Расход стали при этом снижается на 20...25%, что покрывает повышение стоимости самих труб. Кроме того, обтекаемость трубчатого сечения позволяет уменьшить ветровую нагрузку на такие сооружения, как мачты и башни. Высокая коррозионная стойкость труб делает сооружения, выполненные из них, более долговечными.
- Для металлических конструкций применяют трубы круглого, квадратного и прямоугольного сечений. Круглые трубы бывают горячекатаные (ГОСТ 8732-78) и электросварные (ГОСТ 10704-91). Горячекатаные круглые трубы наружным диаметром от 25 до 550 мм и толщиной стенки  $t=2,5...75$  мм имеют высокую стоимость. Их применяют для трубопроводов, в радио- и телебашнях, а также в других специальных сооружениях. Для решетчатых стальных конструкций используют в основном электросварные круглые трубы диаметром от 25 мм и выше с толщиной стенки не менее 2,5 мм.
- Квадратные и прямоугольные трубы изготавливают на профилегибочном стане с последующей заваркой замыкающего шва в потоке стана. Другая технология предусматривает изготовление из рулонной стали электросварной трубы круглого сечения, которой затем придают прямоугольный профиль. Квадратные и прямоугольные трубы поставляют по ГОСТ 25577—83, а также по различным техническим условиям отдельных заводов. Сортамент предусматривает профили квадратного сечения размером от 80 до 180 мм и прямоугольного сечения размером от 60 x 100 до 100 x 230 мм с толщиной профилей от 3 до 8 мм. Эти трубы применяют в стропильных конструкциях под легкую кровлю, в переплетах, витражах и т.п.

- **Холодногнутые профили.** Гнутые профили изготавливают из листа или полосы толщиной от 1 до 8 мм. По индивидуальным заказам и техническим условиям металлургических заводов можно получить гнутые профили самой разнообразной формы (рис. 2.4). Наиболее употребительны равнополочные и неравнополочные уголки, швеллеры, С-образные, Z-образные. Основная область применения — легкие конструкции покрытий зданий, где они, заменяя прокатные профили, могут дать экономию металла до 10%. Особенностью холодногнутого профиля является тонкостенность сечений, поэтому потеря местной устойчивости стенок или полок может произойти раньше общей потери устойчивости. Это предопределяет область рационального применения элементов из гнутых профилей: слабо нагруженные длинные стержни связей, раскосы легких ферм и другие элементы, сечение которых подбирается по предельной гибкости.
- Для повышения местной устойчивости в полках гнутых профилей устраивают отгибы.

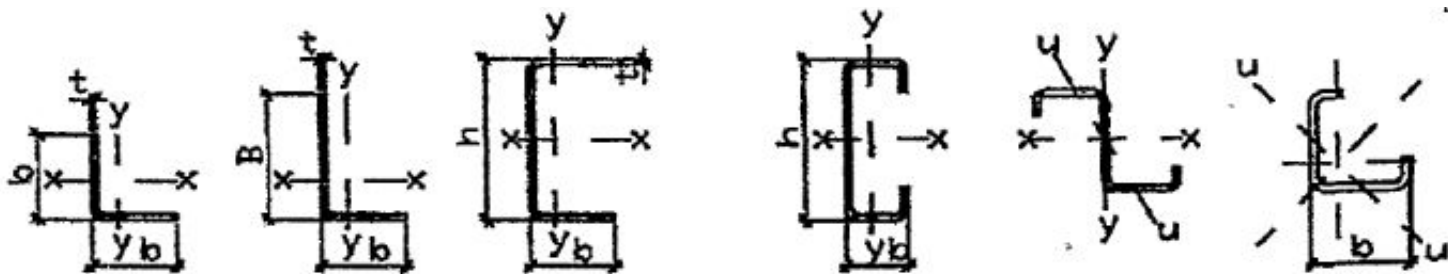


Рис. 2.4 – Типы гнутых профилей

□ **Профили из алюминиевых сплавов.** Профили из алюминиевых сплавов изготавливают двумя способами: прессованием и гибкой. Прессованные профили выполняют методом экструзии: сплав разогревают до температуры пластичности ( $400 — 500^{\circ}\text{C}$ ) и продавливают через фасонное отверстие в матрице. После чего его подвергают правке растяжением. Размеры сечения прессованных изделий ограничены мощностью пресса и внутренним диаметром контейнера, в который помещают нагретый слиток сплава (рис. 2.5). В связи с этим площадь поперечного сечения прессованных профилей ограничена  $200 \text{ см}^2$ , диаметр описанной окружности не более  $350 \text{ мм}$ , соотношение толщин полок и стенок не превышает  $4:1$ . Более крупные профили могут поставляться по специальному соглашению.

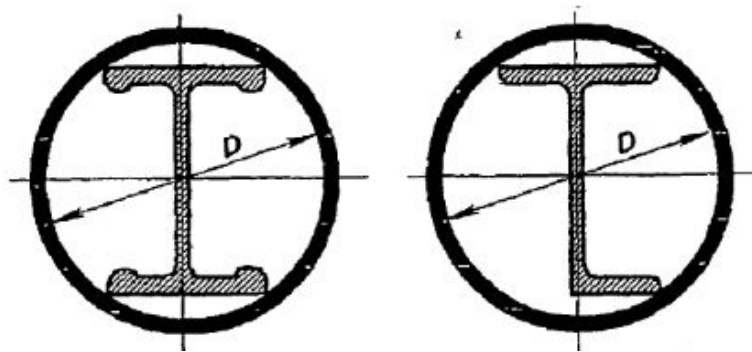


Рис. 2.5 – Профили, вписанные в габаритный круг матрицы

- Прессованные профили подразделяют на профили общего назначения (рис. 2.6) 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". Специальные профили производят по чертежам, согласованным между заказчиком и предприятием-изготовителем.

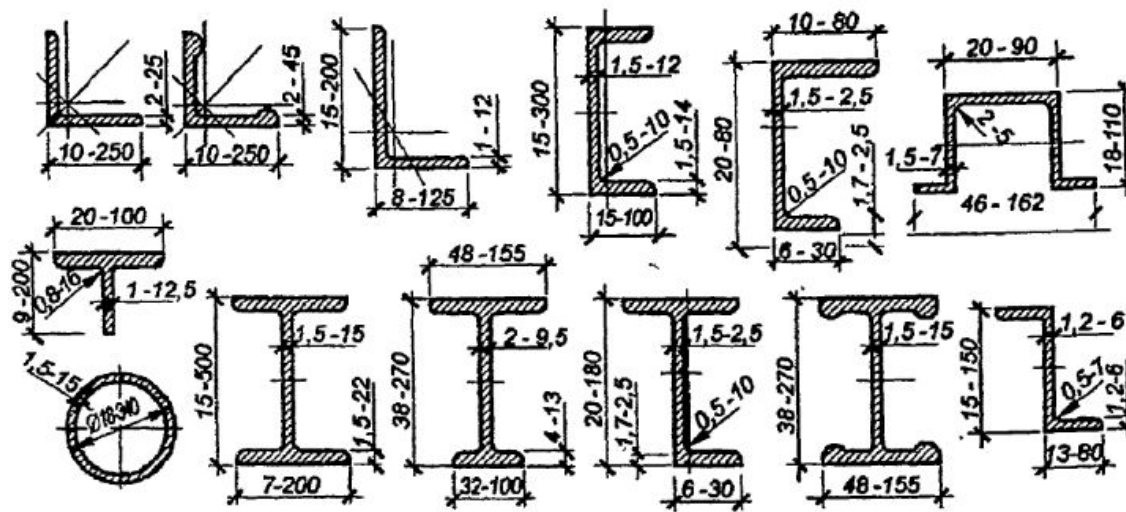


Рис. 2.6 – Прессованные профили общего назначения

- Гнутые профили выполняют профилированием на специализированных станах катаной ленты или листов толщиной от 0,5 до 20 мм. Такие профили можно использовать в несущих и в ограждающих (рис. 2.7) конструкциях.

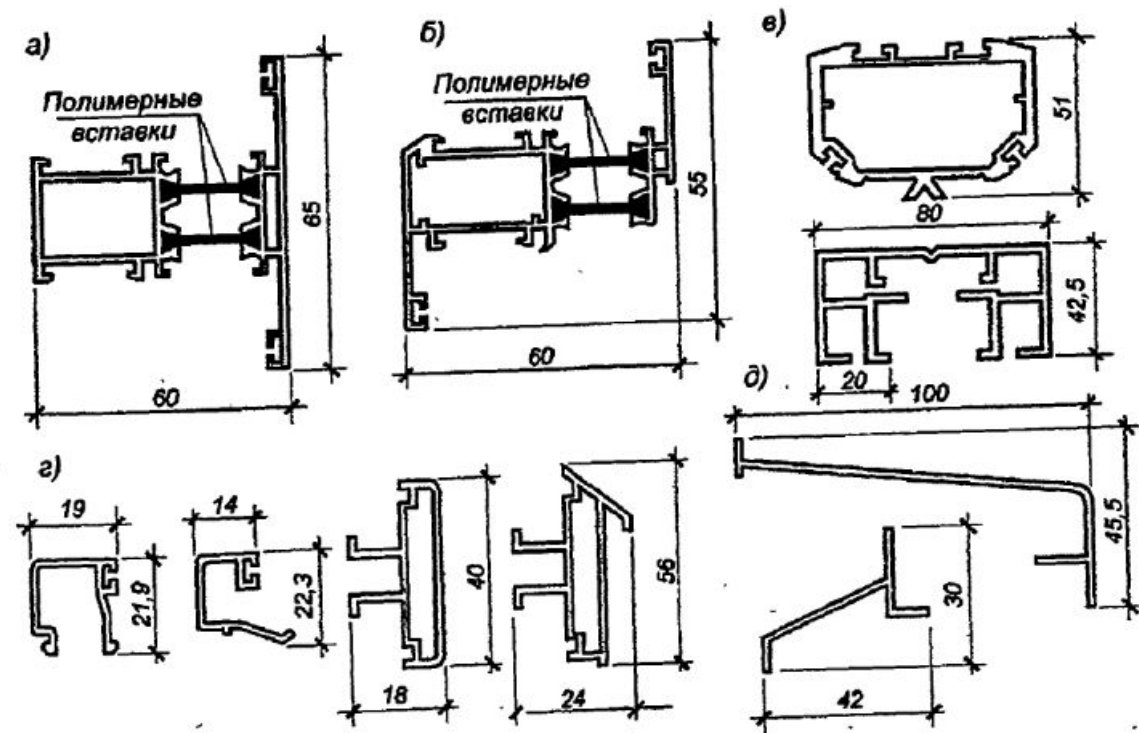


Рис. 2.7 - Специальные прессованные профили:

- а - комбинированный профиль - стойка оконного блока; б - то же, створка;
- в - профили стоек перегородок; г - нащельники; д - отливы