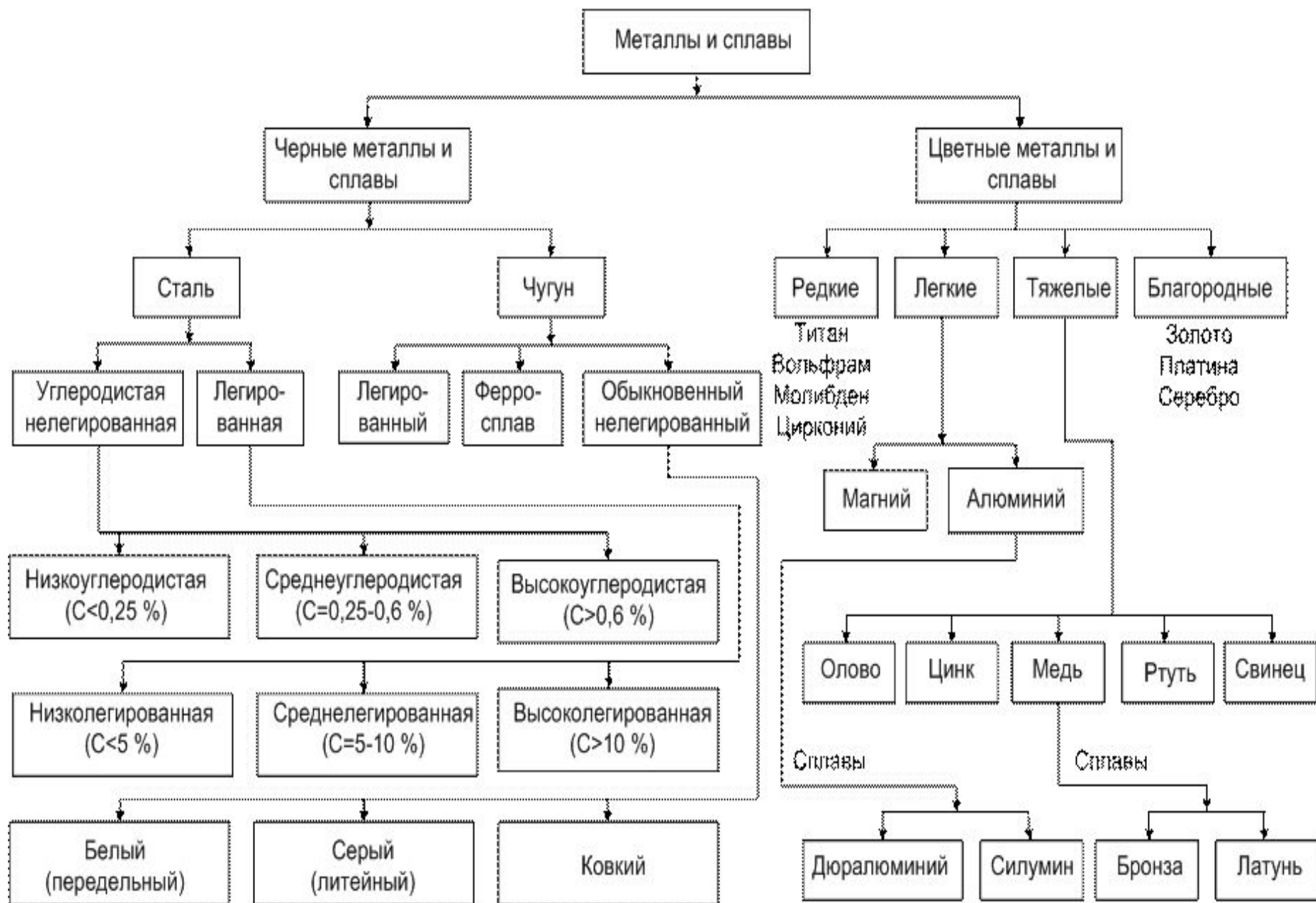


# Тема 4. Углеродистые и легированные стали

Стали, их химический и влияние углерода и др. примесей на свойства стали. Классификация сталей: конструкционные стали (обыкновенного качества, качественные и высококачественные), инструментальные стали (качественные и высококачественные), легированные стали (конструкционные, инструментальные, стали с особыми свойствами). Маркировка сталей

# Классификация сталей

- **Сталь – сплав железа с углеродом (до 2,14%С).**  
**Кроме углерода, в стали содержатся примеси марганца, кремния, фосфора, серы, кислорода, азота, водорода.**
- **стали классифицируют:**
  - по структуре
  - по способу получения
  - по степени раскисления
  - по качеству
  - по назначению



- По химическому составу стали делят на ***углеродистые и легированные***.
- ***Углеродистые*** стали подразделяют на низкоуглеродистые ( $< 0,25\% \text{ C}$ ), среднеуглеродистые ( $0,25—0,6\% \text{ C}$ ) и высокоуглеродистые ( $>0,6\% \text{ C}$ ).
- ***Легированной*** называют сталь, в которую вводят с целью придания ей тех или иных свойств один или несколько легирующих элементов.
- ***Легированные стали*** с суммарным содержанием легирующих элементов
  - менее 5% называют низколегированными,
  - от 5 до 10% - среднелегированными
  - более 10% - высоколегированными (в этих сталях углерод не считается легирующим элементом).

- *По назначению стали делятся на:*
- а) **Конструкционные стали**, применяющиеся для изготовления сооружений, конструкций, деталей машин и приборов .
- б) **Инструментальные стали**, обладающие высокой твердостью, прочностью, износостойкостью и применяющиеся для изготовления режущих и измерительных инструментов, штампов.
- в) **Специальные стали**, обладающие особыми физическими и химическими свойствами и имеющие специфическое назначение.

Углеродистые стали по назначению бывают конструкционными и инструментальными, а легированные – конструкционными, инструментальными и специальными.

- **По структуре углеродистые стали подразделяют на:**
  - доэвтектоидные (содержат менее 0,8% С)
  - эвтектоидные (0,8% С)
  - заэвтектоидные (С более 0,8%)
- **По способу получения углеродистые стали разделяют на:**
  - кислородно-конвертерные
  - мартеновские
  - электростали

- Сталь, выплавляемая любым способом, должна быть раскислена путем добавления раскислителей для восстановления железа из его оксида FeO.
- Раскислителями являются марганец, кремний и алюминий, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо.
- По степени раскисления углеродистые стали бывают:
  - спокойные
  - полуспокойные
  - кипящие
- Для обозначения степени раскисления добавляют индексы: кп – кипящая, сп – спокойная, пс – полуспокойная.

- **Кипящая сталь** является наименее раскисленной, для ее раскисления применяется только ферромарганец.
- В этой стали реакция  $\text{FeO} + \text{C} \Rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$  не прекращается перед разливкой из-за выделяющихся пузырьков CO, и металл продолжает «*кипеть*».
- Газовые пузырьки, оставшиеся в металле, устраняются при последующей горячей прокатке. При таком способе раскисления стали получается наибольший выход годного металла и наименьшие отходы. Сталь имеет высокую пластичность благодаря отсутствию кремния и используется при изготовлении изделий путем глубокой вытяжки.



- **Полуспокойная сталь** получается при раскислении ферромарганцем и ферросилицием. По качеству и свойствам она является промежуточной между спокойной и кипящей сталью.
- **Спокойная сталь** является наиболее раскисленной и получается при последовательном раскислении ферромарганцем, ферросилицием, алюминием.
- Эта сталь наиболее качественная, но и наиболее дорогая, потому что при кристаллизации металла в верхней части слитка образуются усадочные раковины, которые удаляют обрезкой как отходы, что значительно уменьшает выход годного металла.
- **Степень раскисления стали указывается в ее маркировке**

- По химическому составу стали делят на **углеродистые и легированные**.
- Углеродистые стали названы так по основному элементу — углероду. Углерод, которого в этих сталях не более 1,35 %, сильно влияет как на структуру, так и на свойства сталей.
- *С увеличением его содержания возрастают твердость, прочность, упругость стали и снижаются ее пластичность, относительное удлинение.*
- Примесями углеродистой стали являются **марганец, кремний, сера, фосфор**.
- **Нежелательные примеси углеродистых сталей - сера, фосфор, кислород, азот, водород.**

## Постоянными примесями в стали считают марганец, кремний, фосфор, серу

- **Марганец** - вводят в сталь при раскислении для устранения вредного влияния закиси железа.
- Mn повышает прочность стали, упругие свойства.
- При содержании более 1.5% сообщает склонность к хрупкости. При содержании более 13% и выше придает стали аустенитную структуру, противоударную стойкость, высокую износостойкость. При нагреве способствует росту зерна.
- **Кремний** - вводится для раскисления. Полностью растворим в феррите.
- Увеличивает прочность, износостойкость и придает антифрикционные и упругие качества. Более 2% - снижает пластичность.

- **Сера** вызывает *красноломкость* стали – хрупкость при горячей обработке давлением. *В сталях сера находится в виде сульфида  $FeS$ , который образует с железом легкоплавкую эвтектику, отличающуюся низкой температурой плавления ( $988^{\circ}C$ ) и располагающуюся по границам зерен. При горячей деформации границы зерен оплавляются и сталь хрупко разрушается.*
- **Фосфор** вызывает в сталях *хладноломкость* – хрупкость при низких температурах.
- Содержание **серы** и **фосфора** влияет на качество сталей и в зависимости от их содержания стали подразделяются на 4 группы.

- ***По качеству:***

а) Обыкновенного качества (содержат максимально допустимое количество вредных примесей ).

б) Качественные.

в) Высококачественные (помечаются буквой А в конце марки).

г) Особо высококачественные (помечаются буквами Ш или ВД в конце марки ).

- **Качество сталей определяется содержанием вредных примесей (серы, фосфора, неметаллических твердых включений, газов ). Чем чище сталь, тем выше ее качество.**

# ***Стали обыкновенного качества***

- Содержат примерно до 0,045% серы и фосфора.
- Стали обозначают марками Ст 0, Ст 1, Ст 2 ... Ст 6.
- Буквы Ст обозначают сталь, цифры – условный номер марки, чем больше число, тем больше содержание углерода.

- **Обыкновенного качества ( ГОСТ 380-94 )**

Эти стали выплавляют обычно в крупных мартеновских печах и кислородных конвертерах. Обозначают их буквами Ст и условным номером марки от 0 до 6 (с увеличением номера возрастает содержание углерода).

Марка стали	Ст0	Ст1	Ст2	Ст3	Ст4	Ст5	Ст6
С, %	0,23	0,06-0,12	0,09-0,15	0,14-0,22	0,18-0,27	0,28-0,37	0,38-0,49
Mn, %	-	0,25-0,5	0,25-0,5	0,30-0,65	0,40-0,7	0,5-0,8	0,5-0,8

В конце марки ставят степень раскисления, которую обозначают: сп, пс или кп ( например, Ст2пс; Ст3сп; Ст4кп ).

В их составе разное содержание кремния и кислорода: в спокойных 0,15-0,3% Si и 0,002% O<sub>2</sub>; в полуспокойных 0,05-0,15% Si и 0,01% O<sub>2</sub>; в кипящих не более 0,05% Si и 0,02% O<sub>2</sub>.

**3.1. Механические свойства стали обыкновенного качества группы А (ГОСТ 380 – 71)**

Марка стали	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %, не менее
Ст0	Не менее 310	20
Ст1	320 ... 420	31
Ст2	340 ... 440	29
Ст3	380 ... 490	23
Ст4	420 ... 540	21
Ст5	500 ... 640	17
Ст6	Не менее 600	12



- **В зависимости от назначения различают 3 группы сталей обыкновенного качества: А, Б и В.** В марках указывают только группы Б и В, а группу А не указывают.

**Стали группы А** поставляются только по механическим свойствам, химический состав не гарантируется. Стали этой группы обычно используются в изделиях в состоянии поставки без обработки давлением и сварки. Чем больше цифра условного номера стали, тем выше ее прочность и меньше пластичность. Примеры: Ст3кп, Ст6сп, Ст4пс.

**Стали группы Б** поставляются только с гарантируемым химическим составом, а механические свойства не гарантируются. Чем больше цифра условного номера, тем выше содержание углерода. Эти стали в дальнейшем могут подвергаться деформации (ковке, штамповке и др.), а в отдельных случаях и термической обработке. При этом их первоначальная структура и механические свойства не сохраняются. Знание химического состава позволяет определить температурный режим горячей обработки давлением и термообработки. Примеры: БСт2пс; БСт4сп.

**Стали группы В** поставляются с гарантированными химическим составом и механическими свойствами. Эти стали можно сваривать, обрабатывать давлением и подвергать термической обработке. Примеры: ВСт1сп, ВСт5пс, ВСт3сп.

## *Качественные (ГОСТ 1050-88)*

Этот класс сталей выплавляют в электропечах, кислородных конвертерах и мартеновских печах с соблюдением более строгих условий в отношении состава шихты и ведения плавки и разливки.

*Качественные углеродистые конструкционные стали маркируются двузначными числами, которые показывают среднее содержание углерода в сотых долях %.*

Например: 08; 10; 15; 20; 25;.....; 85, где соответственно содержится 0,08% С, 0,10% С, 0,15% С,.....0,85% С.

# Качественные стали

- К ним предъявляют более высокие требования по химическому составу.
- *Содержат серы и фосфора до 0,035% каждого, регламентированы по химическому составу и механическим свойствам.*
- Марки стали обозначают цифрами, которые указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. *Стали 08, 20, 25, ..., 60. Например, сталь 20 – 0,20% С.*
- Низкоуглеродистые стали могут быть кипящими, полуспокойными или спокойными. Кипящие и полуспокойные стали имеют в конце марки буквы кп или пс. Например: 08кп; 10пс; 15кп.

К **качественным углеродистым сталям** относятся также стали с повышенным содержанием марганца (0,8-1,2%). К марке таких сталей добавляется в конце буква **Г**, например, 60Г.

- **Применение этих сталей весьма различно в зависимости от содержания углерода.**
- Низкоуглеродистые стали марок **08кп; 08; 10кп; 10; 15; 15Г; 20; 25; 25Г** применяются для изготовления *малонагруженных деталей* (кузова автомобилей, корпуса приборов, трубы, бачки, шайбы, заклепки, болты и т.д.). Термическая обработка значительно повышает прочность и вязкость изделий из этих материалов, что позволяет создавать более легкие конструкции и экономить металл.
- Стали с более высоким содержанием углерода 0,6..... 0,85% С обладают повышенной прочностью, износостойкостью и упругими свойствами. Их применяют после закалки и отпуска для изготовления *пружин, рессор, прокатных валков* и т.д.

- **Инструментальные стали** содержат более 0,7% углерода. Цифра в марке указывает на среднее содержание углерода в десятых долях процента.
- Например, сталь У7 – 0,7% С, У13 – 1,3% С.
- Они подразделяются на качественные (У7, У8,..... У13), содержащие менее 0,035% S и P и высококачественные (У7А, У8А,..... У13А), содержащие менее 0,02% S и P. При повышенном содержании марганца ставится буква Г (У8Г, У7ГА, У8ГА).
- Углеродистые инструментальные стали применяют для изготовления ножей, режущих инструментов, деталей бытовых машин испытывающих сильное трение при работе

# УГЛЕРОДИСТЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ (ГОСТ 1435-99)

Из сталей марок **У7, У7А, У7ГА, У8, У8Г, У8А, У8ГА** изготавливают деревообрабатывающие инструменты (пилы., отвертки, стамески, топоры), слесарные и кузнечные инструменты (кернеры, зубила, кузнечные штампы), другие инструменты, подвергающиеся ударным нагрузкам.

Стали марок **У9, У9А, У10, У10А, У11, У11А** идут для изготовления инструментов, не подвергающихся ударным нагрузкам, требующих высокой твердости режущей кромки (фрезы, сверла, метчики, резцы, ножи для резки кожи, листовые штампы и т.п.).

Стали марок **У12, У12А, У13, У13А** применяются для инструментов, обладающих высокой твердостью, износостойкостью и не подвергающихся ударным нагрузкам (напильники, резцы, сверла, гравировальные и измерительные инструменты и т.п.).

Достоинством углеродистых инструментальных сталей является низкая стоимость, хорошая обрабатываемость давлением и резанием в отожженном состоянии.

- **Высококачественные стали** содержат не более 0,025% S и P. Обозначаются буквой А, стоящей в конце марки. Например, У12А.
- 4. **Особовысококачественные стали** содержат не более 0,015% S и 0,025% P. В конце марки стоит буква, указывающая способ переплава. Например, Ш – электрошлаковый, ВДП – вакуумно-дуговой, ЭЛП – электронно-лучевой.

- *Легированная конструкционная сталь* (ГОСТ 4543— 71) по сравнению с углеродистой конструкционной обладает более высокими механическими свойствами и в зависимости от основных легирующих элементов может быть хромистой, марганцевой, хромомарганцевой, хромоникелевой и т. д.



- Легированные стали, кроме углерода, содержат один или несколько легирующих, специально добавляемых элементов.
- К легирующим элементам относят марганец, кремний, хром, никель, вольфрам, кобальт, молибден, ванадий, титан и др. Эти элементы в зависимости от их количества, сочетания между собой, изменяют структуру и свойства сталей.
- Данные стали превосходят углеродистые по твердости, износостойкости, жаропрочности, устойчивости к коррозии.
- Однако подобные стали дороже углеродистых, для выплавки их требуется большое количество цветных металлов

# ЛЕГИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

Основными преимуществами легированных конструкционных сталей перед углеродистыми являются более **высокая прочность и повышенная ударная вязкость** за счет изменения структуры.

Легированные конструкционные стали маркируют цифрами и буквами. Первые две цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, затем следует буква, обозначающая легирующий элемент, и цифра, указывающая его содержание в целых процентах. Если содержание легирующего элемента менее 1,5%, то после соответствующей буквы цифра не ставится.

Маркировка сталей была разработана в СССР и действуют по настоящее время на территории России и СНГ.

# Легированные стали

- Легирующие элементы обозначают буквами: Х – хром, Н – никель, Г – марганец, С – кремний, В – вольфрам, М – молибден, Ф – ванадий, К – кобальт, Ю – алюминий, Д – медь.
- Первая цифра указывает на среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента, а цифры, следующие за буквами – процентное содержание этих элементов. *Например, 30ХНЗМ – 0,30% С, 1% Cr, 3% Ni, 1% Mo.*
- Возьмем такую марку как **ХВГ**, расшифровка этой марки показывает наличие в ней основных легирующих элементов: хрома, вольфрама, марганца. *Эта сталь отличается от 9ХВГ, повышенным содержанием в ней углерода, примерно 1%, поэтому цифра в начале марки не ставится.*

# Маркировка сталей

- Стали строительные обозначают буквой С и цифрами, соответствующими минимальному пределу текучести стали.
- Дополнительно применяют обозначения: Т — термоупрочненный прокат, К — повышенная коррозионная стойкость, (например, С345Т; С390К и т. п.).
- Аналогично буквой Д обозначают повышенное содержание меди, (С345Д; С375Д ).

# Маркировка сталей

- Стали инструментальные нелегированные, делят на качественные, обозначаемые буквой У и цифрой, указывающей среднее содержание углерода (например, У7; У8; У10) и высококачественные, обозначаемые дополнительной буквой А в конце наименования (например, У8А; У10А; У12А) или дополнительной буквой Г, указывающей на дополнительное увеличение содержания марганца (например, У8ГА).
- Стали инструментальные легированные, обозначаются также как и конструкционные легированные.

- **Инструментальные легированные стали** используют для изготовления режущих, сверлильных, измерительных и других инструментов, поскольку эти инструменты должны иметь повышенную износостойкость, особенно при высоких скоростях обработки и температуре.

# Маркировка сталей

- Сталь электротехническая нелегированная АРМКО, как ее еще называют: технически чистое железо. Такие марки содержат минимальное количество углерода, менее 0,04%, благодаря чему имеют очень малое удельное электрическое сопротивление.
- Расшифровка сталей конструкционных подшипниковых, производится так, они обозначаются также как и легированные, маркировка начинается с буквы Ш (например, ШХ4; ШХ15; ШХ15СГ). Цифра 15 говорит о содержании легирующего хрома, примерная доля которого равна 1,5%, в стали ШХ4 0,4% соответственно.

# Свойства сталей

- Свойства стали в значительной степени определяются тем, какие фазы образуются при сплавлении с легирующими элементами, в результате термической обработки.
- Основными структурными составляющими сталей являются феррит, аустенит, перлит, ледебурит и др.
- Легирующие элементы присутствуют в сталях в виде твердого раствора в железе, в виде карбидной фазы, в форме интерметаллидных соединений с железом, бором, азотом, кремнием и углеродом или между собой.
- Обычно, сталь имеет плотность 7.6 -7.9 г/см. куб., временное сопротивление растяжению от 800 до 3000 МПа, относительное удлинение от 5 до 12 %, ударную вязкость от 10 до 160 Дж/см. кв.



# Классификация металлов и сплавов по применению

- антифрикционные (сплавы с низким коэффициентом трения и высоким уровнем износостойкости);
- коррозионностойкие (сплавы на основе железа, никеля, меди, алюминия, титана и других элементов, отличающиеся повышенной коррозионной стойкостью в различных агрессивных средах);
- криогенные (прецизионные сплавы на основе железа, никеля, алюминия, характеризующиеся комплексом тепловых, электрических, магнитных, механических свойств и предназначенные для работы при низких температурах (от  $-269$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ ));
- магнитные (сплавы, обладающие ферромагнетизмом);
- немагнитные (сплавы на основе меди, алюминия, железа, магнитная проницаемость которых близка к единице);
- пружинные (сплавы на железной, медной, никелевой, кобальтовой и других основах с высоким пределом упругости)