

## **Лекция 10.**

**Легированные конструкционные стали.  
Инструментальные легированные стали.**

# Строительные стали

В качестве строительных сталей используют:

- углеродистые стали обычного качества ( Ст0... Ст6 )
- низколегированные стали.

Низколегированные стали содержат не более 0.18 % **С** и в небольших количествах - **Si, Mn, V, Cr, Ni, Nb** и **Cu**.

Состав и свойства низколегированных сталей.

| марка стали | Содержание , % |           |         |  | Свойства без термообработки |                  |              |
|-------------|----------------|-----------|---------|--|-----------------------------|------------------|--------------|
|             | С              | Si        | Mn      | Другие                                 | $\sigma_B$ , МПа            | $\sigma_T$ , МПа | $\delta$ , % |
| 09Г2        | $\leq 0.12$    | 0.17-0.37 | 1.4-1.8 |  | 450                         | 310              | 21           |
| 09Г2С       | $\leq 0.12$    | 0.5-0.8   | 1.3-1.4 |  | 480                         | 330              | 21           |
| 17ГС        | 0.14-0.20      | 0.4-0.6   | 1.0-1.5 |  | 500                         | 340              | 19           |
| 15ХСНД      | 0.12-0.18      | 0.4-0.7   | 0.4-0.7 | Cr 0.6-0.9<br>Ni 0.3-0.6<br>Cu 0.2-0.4 | 500                         | 350              | 21           |

Низколегированные стали подвергают нормализации (09Г2С, 17ГС), а также закалке и отпуску (15ХСНД).

Структура стали 09Г2С после нормализации с нагревом на 930 - 950°С.



# Цементуемые легированные стали

Цементации подвергают в основном стали с 0,08-0,25%С. После цементации проводят закалку и низкий отпуск.

## Состав цементуемых сталей.

| Марка стали                    | Содержание, % |          |           |           |              |
|--------------------------------|---------------|----------|-----------|-----------|--------------|
|                                | С             | Mn       | Cr        | Ni        | другие       |
| <b>хромистые</b>               |               |          |           |           |              |
| 15X                            | 0,12-0,18     | 0,3-0,9  | 0,7-1,0   | -         | -            |
| 20X                            | 0,17-0,23     | 0,5-0,8  | 0,7-1,0   | -         | -            |
| <b>хромомарганцевые</b>        |               |          |           |           |              |
| 18ХГТ                          | 0,17-0,23     | 0,8-0,11 | 1,0-1,3   | -         | Ti 0,03-0,09 |
| 20ХГР                          | 0,18-0,24     | 0,7-1,0  | 0,75-1,05 | -         | В 0,003%     |
| <b>хромоникелевые</b>          |               |          |           |           |              |
| 20ХН                           | 0,17-0,23     | 0,3-0,8  | 0,4-0,7   | 1,0-1,4   | -            |
| 12ХН3А                         | 0,09-0,16     | 0,3-0,6  | 0,6-0,9   | 2,75-3,15 | -            |
| <b>хромоникельмолибденовые</b> |               |          |           |           |              |
| 18Х2Н4МА                       | 0,14-0,20     | 0,25-55  | 1,35-1,65 | 4,0-4,5   | Mo 0,3-0,4   |
| 18Х2Н4ВА                       | то же         | то же    | то же     | то же     | W 0,8-1,2%   |

## Свойства сталей 15X, 12ХН3А и 18Х2Н4МА

| Марка стали | Термическая обработка  | $\sigma_{0,2}$<br>МПа | $\sigma_B$<br>МПа | $\delta$ ,<br>% | $\psi$ ,<br>% | KCU,<br>МДж/м <sup>2</sup> |
|-------------|--|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------|----------------------------|
| 15X         | Закалка от 880°C, масло + закалка от 720-820°C, вода (масло) +отпуск (180°C) | 500                   | 700               | 12              | 45            | 0,7                        |
| 12ХН3А      | Закалка от 860°C, масло + закалка от 760-810°C, масло +отпуск (180°C)        | 700                   | 950               | 11              | 55            | 0,9                        |
| 18Х2Н4МА    | Закалка от 950°C, воздух + закалка от 860°C, воздух +отпуск (200°C)          | 850                   | 1150              | 12              | 50            | 1,0                        |

## Улучшаемые легированные стали.

Стали этой группы содержат 0.3 - 0.5 % С и подвергаются закалке и высокому отпуску.

Состав сталей.

| Марка стали                                     | Содержание, % |           |           |         |                               |
|---|---------------|-----------|-----------|---------|-------------------------------|
|   | С             | Mn        | Si        | Cr      | Другие                        |
| <b>Хромистые</b>                                |               |           |           |         |                               |
| 30X   | 0,24-0,32     | 0,5-0,8   | 0,17-0,37 | 0,8-1,1 |                               |
| 40X   | 0,36-0,44     | 0,5-0,8   | 0,17-0,37 | 0,8-1,1 |                               |
| 40XФА   | 0,37-0,44     | 0,5-0,8   | 0,17-0,37 | 0,8-1,1 | V 0,1-0,18                    |
| <b>Хромомарганцевые</b>                         |               |           |           |         |                               |
| 35XГФ   | 0,31-0,38     | 0,95-1,25 | 0,17-0,37 | 1,0-1,3 | V 0,06-0,12                   |
| 40ГТР   | 0,38-0,45     | 0,7-1,0   | 0,17-0,37 | 0,8-1,1 | Ti 0,03-0,09<br>B 0,001-0,005 |
| <b>Хромокремнистые и хромокремнемарганцевые</b> |               |           |           |         |                               |
| 38ХС  | 0,32-0,42     | 0,3-0,6   | 1,0-1,4   | 1,3-1,6 |                               |
| 30ХГС   | 0,28-0,34     | 0,8-1,1   | 0,9-1,2   | 0,8-1,1 |                               |

Свойства сталей 30X и 30ХГС после улучшения.

| Марка стали | Термическая обработка                                       | $\sigma_{02}$ , МПа | $\sigma_{в}$ , МПа | $\delta$ , % | $\Psi$ , % | КСУ, МДж/м <sup>2</sup> |
|-------------|---|---------------------|--------------------|--------------|------------|-------------------------|
| 30X         | закалка от 860°C, масло +<br>отпуск при 550°C, масло (вода) | 510                 | 720                | 22           | 65         | 1,5                     |
| 30ХГС       | закалка от 880°C, масло +<br>отпуск при 550°C, масло (вода) | 850                 | 1100               | 10           | 45         | 0,5                     |

# Состав и свойства улучшаемых легированных сталей

## Состав сталей

| Марка стали                    | Содержание, % |           |           |           |           |           |
|--------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                | C             | Mn        | Cr        | Ni        | Mo        | V         |
| <b>Хромоникелевые</b>          |               |           |           |           |           |           |
| 40ХН                           | 0,36-0,44     | 0,17-0,37 | 0,45-0,75 | 1,0-1,4   | -         | -         |
| 30ХН3А                         | 0,27-0,33     | 0,30-0,60 | 0,60-0,90 | 2,7-3,15  | -         | -         |
| <b>Хромоникельмолибденовые</b> |               |           |           |           |           |           |
| 40ХН2МА                        | 0,37-0,44     | 0,5-0,8   | 0,60-0,90 | 1,25-1,65 | 0,15-0,25 | -         |
| 38ХН3МФА                       | 0,33-0,40     | 0,25-0,50 | 1,20-1,50 | 3,0-3,5   | 0,35-0,45 | 0,10-0,18 |
| 18Х2Н4МА                       | 0,14-0,20     | 0,25-0,50 | 1,35-1,65 | 4,0-4,4   | 0,30-0,40 | -         |

## Свойства сталей после закалки и отпуска при 600°С

| Марка стали | $\sigma_{0,2}$<br>МПа | $\sigma_B$<br>МПа | $\delta$ ,<br>% | $\psi$ ,<br>% | КСУ,<br>МДж/м <sup>2</sup> |
|-------------|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------|----------------------------|
| 40ХН        | 760                   | 910               | 20              | 60            | 0,8                        |
| 30ХН3А      | 830                   | 930               | 21              | 64            | 1,4                        |
| 40ХН2МА     | 930                   | 1070              | 13              | 55            | 1,0                        |
| 38ХН3МФА    | 1100                  | 1200              | 12              | 50            | 0,8                        |
| 18Х2Н4МА    | 710                   | 940               | 19              | 70            | 1,8                        |

# Пружинные стали

Пружинные стали должны обладать высоким сопротивлением малым пластическим деформациям (предел упругости) и высоким пределом усталости при достаточной пластичности. Основные пружинные стали содержат около 0,5-0,7 % С и подвергаются закалке и среднему отпуску

| Марка стали                         | Содержание, % |            |           |           |           |
|-------------------------------------|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|
|                                     | С             | Si         | Mn        | Cr        | другие    |
| <b>углеродистые</b>                 |               |            |           |           |           |
| 65                                  | 0,62-0,70     | 0,17-0,37  | 0,5-0,8   | -         | -         |
| 75                                  | 0,72-0,80     | 0,17-0,37  | 0,5-0,8   | -         | -         |
| <b>кремнистые</b>                   |               |            |           |           |           |
| 50С2                                | 0,47-0,55     | 1,50 -2,00 | 0,6 -0,9  | -         | -         |
| 60С2                                | 0,57-0,65     | 1,50 -2,00 | 0,6 -0,9  | -         | -         |
| 60С2ХА                              | 0,56-0,64     | 1,40-1,80  | 0,4 - 0,7 | 0,70-1,00 | -         |
| 60С2ХФА                             | 0,56-0,64     | 1,40-1,80  | 0,4 - 0,7 | 0,90-1,20 | V 0,1-0,2 |
| <b>хромистые и хромомарганцевые</b> |               |            |           |           |           |
| 50ХФА                               | 0,46-0,54     | 0,17-0,37  | 0,5-0,8   | 0,8-1,1   | V 0,1-0,2 |
| 50ХГФА                              | 0,48-0,54     | 0,17-0,37  | 0,8-1,0   | 0,95-1,1  | V 0,1-0,2 |

Окончательная термическая обработка: закалка от 820-880°С в масле + средний отпуск при 410 - 480°С.

## Свойства пружинных сталей

| Марка стали | Термическая обработка                    | $\sigma_{0,2}$<br>МПа | $\sigma_B$<br>МПа | $\delta$<br>% | $\psi$<br>% |
|-------------|--|-----------------------|-------------------|---------------|-------------|
| 65          | Закалка от 840°С, масло + отпуск (480°С) | 800                   | 1100              | 10            | 35          |
| 60С2        | Закалка от 870°С, масло + отпуск (460°С) | 1200                  | 1300              | 6             | 30          |
| 60С2ХФА     | Закалка от 950°С, масло + отпуск (450°С) | 1680                  | 1820              | 7             | 30          |

## Подшипниковые стали

Подшипниковые стали должны обладать высокими твердостью, износостойкостью и контактной выносливостью.

Основные подшипниковые стали содержат около 1 % С и легированы хромом.

| марка стали | Содержание , % |           |           |             |
|-------------|----------------|-----------|-----------|-------------|
|             | С              | Mn        | Si        | Cr          |
| ШХ15        | 0,95-1,05      | 0,20-0,40 | 0,17-0,37 | 1,30 - 1,65 |
| ШХ15СГ      | 0,95-1,05      | 0,90-1,20 | 0,40-0,65 | 1,30 - 1,65 |

Маркировка: ШХ - обозначает шарикоподшипниковая хромистая, цифры 15 - среднее содержание хрома в десятых долях процента.

Предварительная термическая обработка: отжиг на зернистый перлит.

Окончательная термическая обработка: закалка от 840-860°С в масле + низкий отпуск при 150 - 170°С.

Твердость после окончательной термической обработки - 60-65 HRC.

# Коррозионностойкие стали

**Коррозионностойкими** (нержавеющими) называют стали, которые способны сопротивляться коррозионному воздействию агрессивной среды.

Различают химическую и электрохимическую коррозию.

**Межкристаллитная коррозия**  
аустенитных сталей.



Одним из видов электрохимической коррозии является

**межкристаллитная коррозия.**

Она распространяется по границам зерен от поверхности вглубь металла и резко снижает механические свойства.

Основной легирующий элемент коррозионностойких сталей - **хром**. При его содержании более 12% возникает высокая устойчивость против коррозии. Коррозионностойкие стали подразделяются на **хромистые** и **хромоникелевые**.



# Хромистые коррозионностойкие стали

В зависимости от структуры, образующейся при охлаждении на воздухе, хромистые стали делятся на следующие классы:

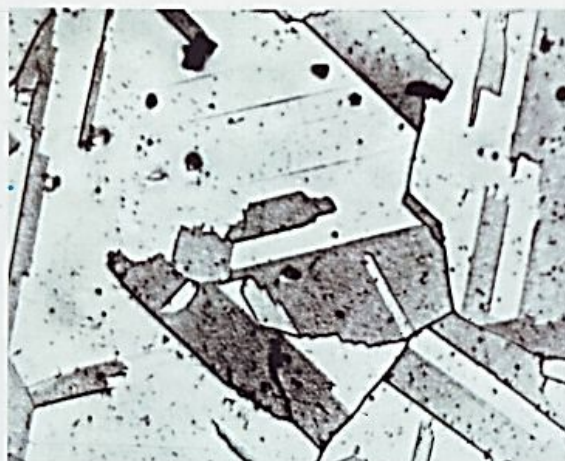
мартенситные, мартенситно-ферритные (содержат более 10 % феррита) и ферритные.

| Марка<br>стали                             | Содержание, % |           |               | Термическая<br>обработка                    | $\sigma_{0,2}$<br>МПа | $\sigma_B$<br>МПа | $\delta$ ,<br>% | $\Psi$ ,<br>% |
|--|---------------|-----------|---------------|---|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------|
|  | C             | Cr        | Ti            |   |                       |                   |                 |               |
| <b>Стали мартенситного класса</b>          |               |           |               |   |                       |                   |                 |               |
| 20X13                                      | 0,16-<br>0,25 | 12-<br>14 | -             | Закалка от 1000-1050°C+<br>отпуск 660-770°C | 440                   | 650               | 16              | 55            |
| 30X13                                      | 0,26-<br>0,35 | 12-<br>14 | -             | Закалка от 950-1020°C+<br>отпуск 700-750°C  | 590                   | 730               | 14              | 40            |
| 40X13                                      | 0,36-<br>0,45 | 12-<br>14 | -             | Закалка от 1000-1050°C+<br>отпуск 600-650°C | 890                   | 1120              | 13              | 32            |
| <b>Стали мартенситно-ферритного класса</b> |               |           |               |   |                       |                   |                 |               |
| 12X13                                      | 0,09-<br>0,15 | 12-<br>14 | -             | Закалка от 1000-1050°C+<br>отпуск 700-770°C | 410                   | 590               | 20              | 60            |
| <b>Стали ферритного класса</b>             |               |           |               |   |                       |                   |                 |               |
| 12X17                                      | менее<br>0,12 | 16-<br>18 | -             | Отжиг 760-780°C                             | 240                   | 390               | 20              | 50            |
| 15X25T                                     | менее<br>0,15 | 24-<br>27 | 0,15-<br>0,40 | Отжиг 740-760°C                             | 290                   | 440               | 20              | 45            |

# Хромоникелевые аустенитные коррозионностойкие стали

| Марка<br>стали | Содержание, % |           |             |                          | Термическая<br>обработка    | $\sigma_{0,2}$<br>МПа | $\sigma_B$<br>МПа | $\delta$ ,<br>% |
|----------------|---------------|-----------|-------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|
|                | C             | Cr        | Ni          | другие                   |                             |                       |                   |                 |
| 12X18H9        | менее<br>0,12 | 17-<br>19 | 8,0-<br>9,5 | -                        | Закалка от<br>1050 - 1100°C | 190                   | 520               | 45              |
| 04X18H10       | менее<br>0,04 | 17-<br>19 | 9-<br>11    | -                        | Закалка от<br>1000 - 1050°C | 170                   | 500               | 50              |
| 12X18H10T      | менее<br>0,12 | 17-<br>19 | 9-<br>11    | Ti<br>0,3-0,7            | Закалка от<br>1050 - 1100°C | 210                   | 540               | 55              |
| 10X17H13M2T    | менее<br>0,10 | 16-<br>18 | 12-<br>14   | Ti 0,3-0,6<br>Mo 1,8-2,5 | Закалка от<br>1050 - 1100°C | 220                   | 540               | 40              |

Структура стали 12X18H10T после закалки



x1000

# Жаростойкие стали

Под *жаростойкими* (окалиностойкими) понимают стали, устойчивые к газовой коррозии при высоких температурах.

Основные легирующие элементы, повышающие жаростойкость - **хром, кремний и алюминий**.

Хром и алюминий образуют защитные пленки из  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , а кремний - из  $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ .

Различают две основных группы сталей:

1. Высокохромистые стали, имеющие **ферритную** структуру: **08X17T, 15X25T, 15X28, 05X25Ю5** и др.

Термическая обработка: *нормализация с нагревом до 760 - 800°C.*

2. Хромоникелевые стали с **аустенитной** структурой: **08X18H9T, 20X23H18, 20X25H20C2** и др.

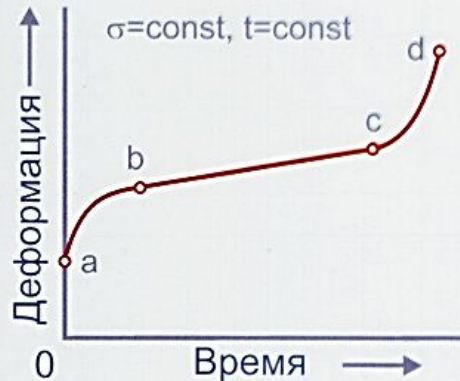
Термическая обработка: *закалка от 1100 - 1150°C с охлаждением в воде, масле или на воздухе:*

# Жаропрочность и ползучесть

**Жаропрочность** - это способность металлов сопротивляться деформации и разрушению при длительном воздействии нагрузки при повышенных температурах.

**Ползучесть** - это медленное нарастание пластической деформации под действием напряжений, меньших предела текучести.

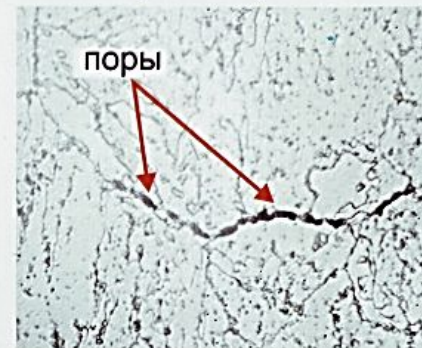
## Кривая ползучести



- 0a** - деформация в момент приложения нагрузки;
- ab** - стадия *неустановившейся ползучести*;
- bc** - стадия *установившейся ползучести*;
- cd** - стадия *ускоренной ползучести*.

Разрушение при ползучести начинается с появления пор или клиновидных трещин на границах зерен. Они растут и объединяются, образуя макротрещины.

Повреждаемость стали 15X1M1Ф при ползучести



x800

# Жаропрочные стали

**Жаропрочные** стали подразделяются на две группы:

- **теплоустойчивые** стали:

углеродистые, низколегированные, хромистые;

- **жаропрочные аустенитные** стали:

гомогенные (однофазные) стали, стали с карбидным упрочнением, стали с интерметаллидным упрочнением.

## Теплоустойчивые углеродистые стали

Стали 12К, 15К, 20К, 22К применяют до 450°C.

Маркировка: буква К обозначает “котельная”; цифры - среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Термическая обработка - нормализация.

Свойства сталей  $\sigma_{0,2} = 220-280$  МПа,  $\sigma_B = 380-490$  МПа,  $\delta = 19 - 24\%$ .

# Теплоустойчивые низколегированные стали

Эти стали применяются до 580 °С

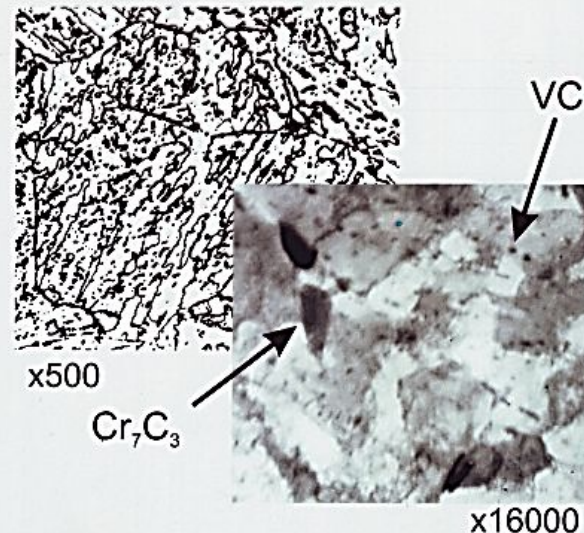
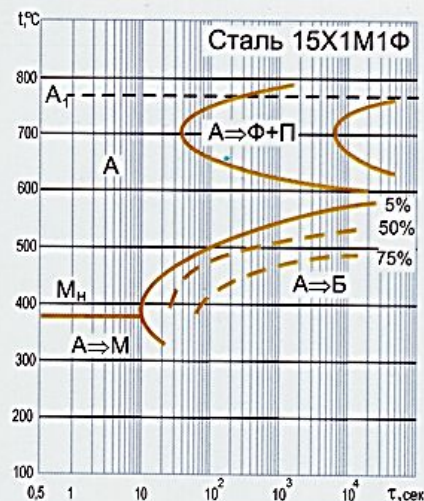
| Марка<br>стали | Содержание, % |              |               |               | Термическая<br>обработка   | $\sigma_{0,2}$<br>МПа | $\sigma_B$ ,<br>МПа | $\delta$ ,<br>% |
|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--|-----------------------|---------------------|-----------------|
|                | C             | Cr           | Mo            | V             |  |                       |                     |                 |
| 12X1MФ         | 0,08<br>0,15  | 0,9 -<br>1,2 | 0,25-<br>0,35 | 0,15-<br>0,30 | Охлаждение от 950-<br>980°С на воздухе<br>+ отпуск 720 - 760°С   | 260                   | 450                 | 21              |
| 15X1M1Ф        | 0,10<br>0,16  | 1,1 -<br>1,4 | 0,9-<br>1,1   | 0,20-<br>0,25 | Охлаждение от 1020-<br>1050°С на воздухе<br>+ отпуск 730 - 750°С | 320                   | 500                 | 18              |

## Сталь 15X1M1Ф

Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 15X1M1Ф

Оптимальными являются бейнитная и феррито-бейнитная структуры

| C    | Mn   | Si   | Cr   | Mo   | V    | A <sub>1</sub> | M <sub>s</sub> | T <sub>c</sub> |
|------|------|------|------|------|------|----------------|----------------|----------------|
| 0,16 | 0,64 | 0,76 | 0,76 | 0,20 | 0,03 | 760            | 380            | 1080           |



# Теплоустойчивые хромистые стали

Эти стали применяются до 550 -620 °С

а) Стали с **10-12% Cr**, дополнительно легированные молибденом, вольфрамом, ванадием и ниобием.

В сталях, содержащих более 11% Cr, в структуре присутствует  $\delta$  - феррит. При термической обработке и эксплуатации выделяются карбиды  $M_{23}C_6$ ,  $M_7C_3$ ,  $MC$ ,  $M_6C$  и фазы Лавеса  $Fe_2Mo$ ,  $Fe_2W$ ,  $Fe_2(Mo,W)$ .

**Термическая обработка** - закалка на мартенсит и высокий отпуск.

| Марка стали | Содержание, % |             |             |                                       | Термическая обработка                             | $\sigma_{0,2}$<br>МПа                             | $\sigma_B$<br>МПа | $\delta$ ,<br>% |
|-------------|---------------|-------------|-------------|---------------------------------------|---|---|-------------------|-----------------|
|             | C             | Cr          | Mo          | другие                                |   |   |                   |                 |
| 15X11МФ     | 0,12<br>0,19  | 10-<br>11,5 | 0,6-<br>0,8 | V-0,35                                | Закалка от<br>1080 - 1100°C<br>+ отпуск 680-750°C | 550   | 720               | 15              |
| 18X12ВМФБР  | 0,15<br>0,22  | 11-<br>13   | 0,4-<br>0,6 | W-0,55<br>V-0,22<br>Nb-0,3<br>В<0,003 |   | Закалка от<br>1050 - 1150°C<br>+ отпуск 650-670°C | 670               | 900             |

б) Стали с **5-10% Cr**, дополнительно легированные кремнием (сильхромы): **40X9C2, 40X10C2M**.

Эти стали обладают повышенной жаростойкостью и применяются при длительной эксплуатации до 500-600°C.

**Термическая обработка** - закалка от 1000-1050°C в масле и высокий отпуск при 720-780°C.

# Жаропрочные аустенитные стали с карбидным упрочнением

Эти стали предназначены для работы при **650-750°C**  
и высоких напряжениях

| Марка стали              | Содержание, %  |               |       |         |           |           |                                       |
|--------------------------|----------------|---------------|-------|---------|-----------|-----------|---------------------------------------|
|                          | C              | Cr            | Ni    | Mn      | Mo        | V         | другие                                |
| 45X14H14B2M<br>(ЭИ69)    | 0,4 -0,5       | 13-15         | 13-15 | -       | 0,25-0,4  | -         | W 2,0-2,7                             |
| 31X19H9MBT<br>(ЭИ572)    | 0,28 -<br>0,35 | 18-20         | 8-10  | -       | 1,0-1,5   | -         | W 1,0-1,5<br>Ti 0,2-0,5<br>Nb 0,2-0,5 |
| 37X12H8Г8МФБ<br>(ЭИ481)  | 0,34<br>0,40   | 11,5-<br>13,5 | 7-8   | 7,5-9,5 | 1,1-1,4   | 1,25-1,35 | Nb 0,25-<br>0,45                      |
| 40X15H7Г7Ф2МС<br>(ЭИ388) | 0,38-<br>0,47  | 14-16         | 6-8   | 6-8     | 0,65-0,95 | 1,5-1,9   | Si 0,9-1,4                            |

Термическая обработка: **закалка** и **старение**.

Основные упрочняющие фазы:

в сталях 45X14H14B2M и 31X19H9MBT -  $Me_{23}C_6$ ;

в сталях 37X12H8Г8МФБ и 40X15H7Г7Ф2МС-  $Me_{23}C_6$  и VC

Микроструктура стали  
37X12H8Г8МФБ



X300



# Жаропрочные аустенитные стали и железоникелевые сплавы с интерметаллидным упрочнением

Эти материалы предназначены для работы при 550 - 750 °С

| Марка стали или сплава | Содержание, % |         |       |         |         |         |         |      |
|------------------------|---------------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|------|
|                        | C             | Cr      | Ni    | Mo      | W       | Ti      | Al      | B    |
| 10X11H20T3P<br>(ЭИ696) | <0,10         | 10-12,5 | 18-21 | -       | -       | 2,6-3,2 |         | 0,08 |
| 10X12H22T3MP<br>(ЭП33) | <0,10         | 10-12,5 | 21-25 | 1,0-1,6 | -       | 2,6-3,2 |         | -    |
| XH35BT<br>(ЭИ612)      | <0,12         | 14-16   | 34-38 | -       | 2,8-3,5 | 1,1-1,5 | -       | -    |
| XH35BTЮ<br>(ЭИ787)     | <0,08         | 14-16   | 33-37 | -       | 2,9-3,5 | 2,4-3,2 | 0,7-1,4 |      |

Термическая обработка - закалка и старение. Основные упрочняющие фазы -  $Ni_3(Ti,Al)$  и  $Ni_3Ti$  с решеткой ГЦК ( $\gamma'$ - фаза).



X300

Микроструктура сплава XH35BT после закалки и старения

# Классификация инструментальных сталей

К **инструментальным** относятся стали, применяемые для обработки материалов резанием и давлением.

Инструментальные стали подразделяются на:

- стали для режущего инструмента;
- штамповые стали для холодного деформирования;
- штамповые стали для горячего деформирования;
- стали для измерительного инструмента.

## **Стали для режущего инструмента**

Требования к сталям: высокая твердость, прочность, износостойкость и теплостойкость при достаточной вязкости.

**Теплостойкость** - это способность материала сохранять высокую твердость в течении длительного времени при повышенных температурах.

**Маркировка:** углеродистые инструментальные стали маркируют буквой **У**, за ней следуют цифры, которые показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Сталь **У10** содержит около **1%** С.

Маркировка легированных сталей начинается с цифры, показывающей среднее содержание углерода в десятых долях процента. Если содержание углерода около 1 % цифра не ставится.

Сталь **9ХС** содержит около **0,95 %С**, а сталь **ХВГ** около **1%**.

# Стали для режущего инструмента

## Стали с низкой теплостойкостью

Высокая твердость этих сталей сохраняется до температур нагрева 200-250°C.

К этой группе сталей относятся:

- углеродистые стали небольшой прокаливаемости;
- легированные стали повышенной прокаливаемости.

**1. Углеродистые стали небольшой прокаливаемости:**

У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13. Эти стали содержат от 0,7 до 1,3% С и подвергаются закалке и низкому отпуску.

| Марка стали | Термическая обработка             |                                   | Твердость, HRC |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
|             | $t_{\text{зак.}}, ^\circ\text{C}$ | $t_{\text{отп.}}, ^\circ\text{C}$ |                |
| У7          | 800- 820                          | 150-160<br>275-325                | 61-63<br>48-55 |
| У8          | 780- 800                          | 150-160<br>200-220                | 61-63<br>57-59 |
| У9 - У13    | 760- 780                          | 150-160<br>200-220                | 62-63<br>58-59 |

# Стали для режущего инструмента

Стали с низкой теплостойкостью и повышенной прокаливаемостью

Стали применяются для изготовления инструмента сечением до 30-100 мм. Они подвергаются закалке и низкому отпуску.

| Марка стали | Содержание, % |         |           |           |  | Термообработка         |                        | Твердость, HRC |
|-------------|---------------|---------|-----------|-----------|--|------------------------|------------------------|----------------|
|             | C             | Mn      | Si        | Cr        | другие                                 | t <sub>зак.</sub> , °C | t <sub>отп.</sub> , °C |                |
| <b>9ХФ</b>  | 0,8-0,9       | 0,3-0,6 | 0,15-0,35 | 0,4-0,7   | <b>V</b> 0,15-0,3                      | <b>820-840</b>         | <b>200-220</b>         | 58-60          |
| <b>9ХС</b>  | 0,85-0,95     | 0,3-0,6 | 1,2-1,6   | 0,95-1,25 | -                                      | <b>860-880</b>         | <b>140-160</b>         | 62-65          |
| <b>ХВГ</b>  | 0,9-1,05      | 0,8-1,1 | 0,15-0,35 | 0,9-1,2   | <b>W</b> 1,2-1,6                       | <b>830-850</b>         | <b>140-160</b>         | 62-65          |
| <b>ХВГС</b> | 0,95-1,05     | 0,6-0,9 | 0,65-1,0  | 0,6-1,1   | <b>W</b> 0,5-0,8<br><b>V</b> 0,05-0,15 | <b>840-860</b>         | <b>140-160</b>         | 62-64          |

# Стали для режущего инструмента

## Быстрорежущие стали

Высокая твердость этих сталей сохраняется при нагреве до 600-640°C. Инструмент из этих сталей работает с высокими скоростями резания.

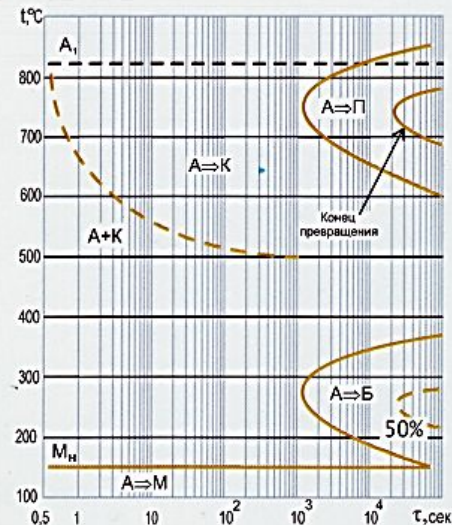
**Маркировка:** Марка стали начинается с буквы **P**, за которой следует число, обозначающее содержание **вольфрама**.

| Марка стали | Содержание, % |          |         |         |         |
|-------------|---------------|----------|---------|---------|---------|
|             | C             | W        | Mo      | Cr      | V       |
| P18         | 0,7-0,8       | 17-19    | 0,5-1,0 | 3,8-4,4 | 1,0-1,4 |
| P9          | 0,85-0,95     | 8,5-10,5 | до 1,0  | 3,8-4,4 | 2,0-2,6 |
| P6M5        | 0,82-0,90     | 5,5-6,5  | 5,0-5,5 | 3,8-4,4 | 1,7-2,1 |

Структура стали P18



Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали P6M5



# Стали для измерительных инструментов

Требования к сталям: высокая твердость и износостойкость, сохранение постоянных линейных размеров и формы, способность получать высокую чистоту поверхности при полировании.

Для изготовления измерительных инструментов используют высокоуглеродистые хромистые стали.

| Марка стали | Содержание, % |          |           |
|-------------|---------------|----------|-----------|
|             | C             | Mn       | Cr        |
| X           | 0,95-1,10     | 0,15-0,4 | 1,36-1,65 |
| 12X1        | 1,15-1,25     | 0,3-0,6  | 1,30-1,65 |
| XГ          | 0,95-1,10     | 0,4-0,7  | 1,30-1,60 |

Термическая обработка: закалка и низкий отпуск. Твердость стали после термообработки - 62-64 HRC.

Для уменьшения количества остаточного аустенита в закаленной стали используют обработку холодом.

# Штамповые стали для холодного деформирования

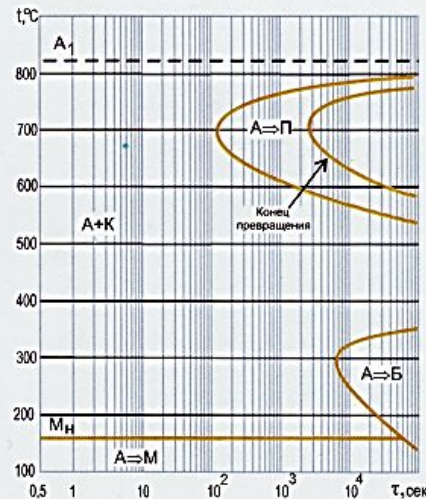
**Требования к сталям:** высокая **твердость**, **прочность** и **износостойкость** в сочетании с удовлетворительной вязкостью.

## 1. Стали повышенной износостойкости

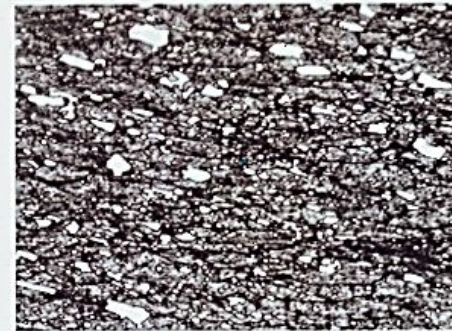
К этой группе относятся высоколегированные стали с высоким содержанием **хрома** (6-12%). Высокую их износостойкость в основном обеспечивает наличие в стали карбидов **Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub>** на основе хрома, объемная доля которых достигает 12-24%.

| Марка стали  | Содержание, % |         |          |                   | Термообработка         |                        | Твердость, HRC |
|--------------|---------------|---------|----------|-------------------|------------------------|------------------------|----------------|
|              | C             | Cr      | V        | другие            | t <sub>зак.</sub> , °C | t <sub>зак.</sub> , °C |                |
| <b>X12Ф1</b> | 1,25-1,45     | 11-12,5 | 0,7-0,9  | -                 | <b>1000-1020</b>       | <b>170-200</b>         | 61-63          |
| <b>X12M</b>  | 1,45-1,65     | 11-12,5 | 0,15-0,3 | <b>Mo 0,4-0,6</b> | <b>1000-1020</b>       | <b>170-200</b>         | 61-63          |
| <b>X6ВФ</b>  | 1,05-1,15     | 5,5-6,5 | 0,5-0,8  | <b>W 1,1-1,5</b>  | <b>980-1000</b>        | <b>150-170</b>         | 61-63          |

Диаграмма изотермического распада аустенита стали X12M



Структура стали X12M после закалки и отпуска



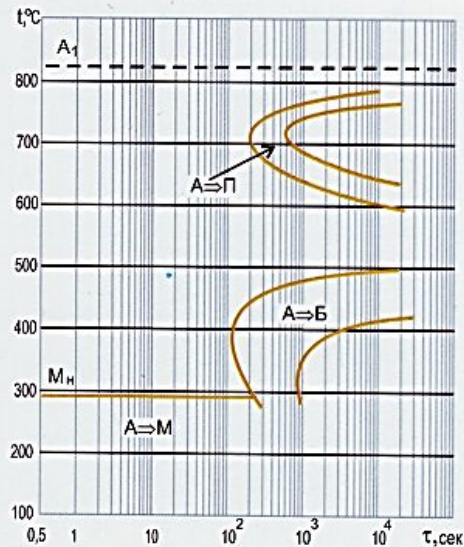
Сквозная прокаливаемость при охлаждении в масле до **100 мм** для сталей **X12Ф1** и **X12M** и до **80 мм** для стали **X6ВФ**

# Штамповые стали для холодного деформирования

## 2. Стали повышенной вязкости

| Марка стали  | Содержание, % |         |         |         | Термообработка                     |                                    | Твердость, HRC |
|--------------|---------------|---------|---------|---------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|
|              | C             | Si      | Cr      | W       | $t_{\text{зак.1}}, ^\circ\text{C}$ | $t_{\text{отп.1}}, ^\circ\text{C}$ |                |
| <b>4XB2C</b> | 0,35-0,45     | 0,6-0,9 | 1,0-1,3 | 2,0-2,5 | <b>860-900</b>                     | <b>200-250</b>                     | 54-59          |
| <b>5XB2C</b> | 0,45-0,55     | 0,8-1,1 | 0,9-1,2 | 1,8-2,3 | <b>860-900</b>                     | <b>430-470</b>                     | 47-52          |
| <b>6XB2C</b> | 0,55-0,80     | 0,5-0,8 | 1,0-1,3 | 2,2-2,7 | <b>860-900</b>                     | <b>430-470</b>                     | 47-52          |

Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 5XB2C



Стали **5XB2C** и **6XB2C** подвергают изотермической закалке. Для стали **5XB2C** ее режим: нагрев до **980-1000°C** - охлаждение в расплаве солей до **300°C**, выдержка **30 мин** - охлаждение на воздухе. Такая обработка при твердости около **52 HRC** обеспечивает ударную вязкость **0,6-0,7 МДж/м<sup>2</sup>**, тогда как после закалки на мартенсит и отпуска на такую же твердость, ударная вязкость равна **0,2-0,25 МДж/м<sup>2</sup>**.



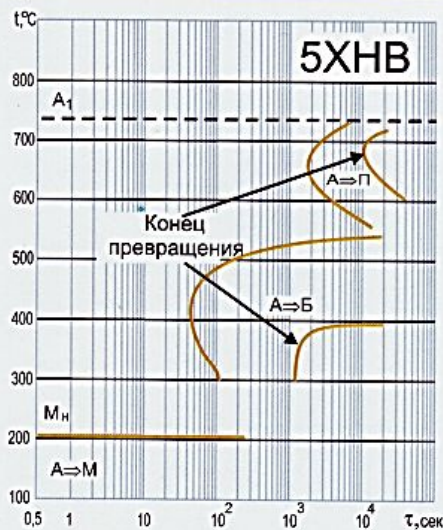
# Штамповые стали для горячего деформирования

**Требования к сталям:** высокая **прочность** при повышенных температурах, высокая **теплостойкость**, **износостойкость** и **разгаростойкость** при достаточной вязкости.

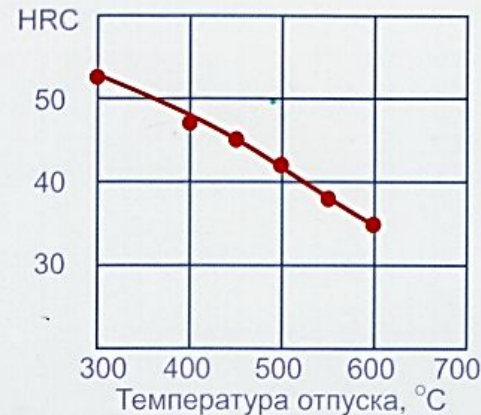
**Разгаростойкость** - это способность стали выдерживать многократные нагревы и охлаждения без образования трещин. Стали данной группы содержат **0,3-0,6%** углерода и подвергаются **закалке и высокому отпуску**.

**1. Стали для изготовления крупных штампов, работающих с ударными нагрузками, при относительно невысоких температурах (500 - 550°C).**

| Марка стали | Содержание, % |         |         |             | Термообработка       |                      | Твердость, HRC |
|-------------|---------------|---------|---------|-------------|----------------------|----------------------|----------------|
|             | C             | Cr      | Ni      | другие      | $t_{\text{зак.}}$ °C | $t_{\text{отп.}}$ °C |                |
| <b>5ХНМ</b> | 0,50-0,60     | 0,5-0,8 | 1,4-1,8 | Mo 0,15-0,3 | <b>840 -860</b>      | <b>500 - 550</b>     | 40-45          |
| <b>5ХНВ</b> | 0,50-0,60     | 0,5-0,8 | 1,4-1,8 | W 0,4-0,7   | <b>840 -860</b>      | <b>500 - 550</b>     | 40-45          |



Изменение твердости стали 5ХНВ при отпуске



# Штамповые стали для горячего деформирования

## 2. Стали для изготовления штампов, работающих при температурах до 600 - 700°С .

К этой группе относятся **вторичнотвердеющие** стали. Основные упрочняющие фазы, выделяющиеся при отпуске - **Me<sub>3</sub>C** на основе ванадия и **Me<sub>6</sub>C** на основе молибдена и вольфрама.

| Марка стали    | Содержание, % |          |         |  | Термообработка         |                        | Твердость, HRC |
|----------------|---------------|----------|---------|--|------------------------|------------------------|----------------|
|                | C             | Si       | Cr      | другие   | t <sub>зак.</sub> , °C | t <sub>отп.</sub> , °C |                |
| <b>4X5MΦC</b>  | 0,32-0,40     | 0,9-1,2  | 4,5-5,5 | <b>Mo</b> 1,2-1,5<br><b>V</b> 0,3-0,5                      | <b>1000 -1020</b>      | <b>540 - 560</b>       | 48-50          |
| <b>4X4BMΦC</b> | 0,37-0,44     | 0,6-1,2  | 3,2-4,0 | <b>Mo</b> 0,6-0,9<br><b>W</b> 0,8-1,2<br><b>V</b> 0,6-0,95 | <b>1050 -1070</b>      | <b>620 - 640</b>       | 48-50          |
| <b>3X2B8Φ</b>  | 0,30-0,40     | 0,15-0,4 | 2,2-2,7 | <b>W</b> 7,5-8,5<br><b>V</b> 0,2-0,5                       | <b>1130 -1150</b>      | <b>630 - 660</b>       | 44-47          |

Механические свойства штамповых сталей при 600°С

| Марка стали    | σ <sub>B</sub> , МПа | δ, % | ψ, % | КСУ, МДж/м <sup>2</sup> |
|----------------|----------------------|------|------|-------------------------|
| <b>5ХНВ</b>    | 500                  | 42   | 85   | 1,2                     |
| <b>4X5MΦC</b>  | 980                  | 15   | 58   | 0,5                     |
| <b>4X4BMΦC</b> | 1100                 | 15   | 50   | 0,5                     |
| <b>3X2B8Φ</b>  | 1180                 | 11   | 32   | 0,35                    |

# Твердые сплавы для режущего инструмента

**Твердые сплавы** - это сплавы, изготовленные методом порошковой металлургии и состоящие из карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC), соединенных кобальтовой связкой.

Твердые сплавы сочетают высокую **твердость** (74-76HRC) и **износостойкость** с высокой **теплостойкостью** и применяются для резания с высокими скоростями.

**Различают 3 группы сплавов.**

1. **Вольфрамовые** сплавы (система **WC-Co**).  
**ВК3, ВК6, ВК8, ВК10, ВК20** и другие.

Они маркируются буквами **ВК** и цифрой, показывающей содержание кобальта в процентах.

2. **Титановольфрамовые** сплавы (система **TiC-WC-Co**).  
**T30K4, T15K6, T5K10** и другие.

Они маркируются буквами **Т** и **К** и цифрами, стоящими за этими буквами, показывающими содержание в процентах титана и кобальта.

3. **Титанотанталовольфрамовые** сплавы  
(система **TiC-TaC-WC-Co**).

**ТТ7К12, ТТ8К6** и другие.

В маркировке после букв **ТТ** стоит цифра, указывающая количество карбидов титана и вольфрама в процентах. Цифра после буквы **К** указывает содержание кобальта.

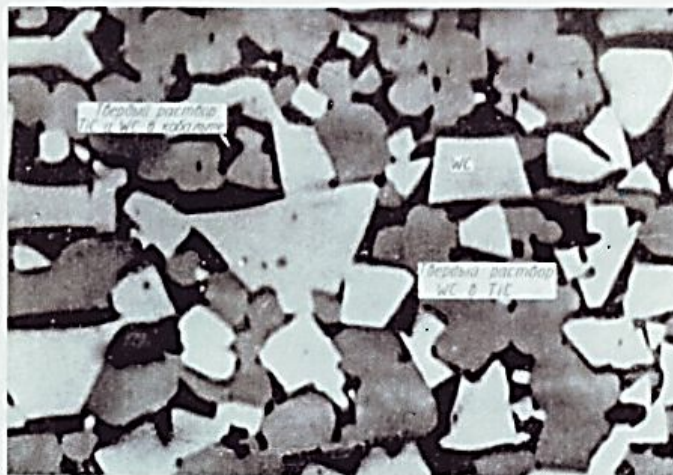
# Твердые сплавы для режущего инструмента

Микроструктура вольфрамового сплава BK15.



X3000

Микроструктура титановольфрамового сплава T15K6



X3000