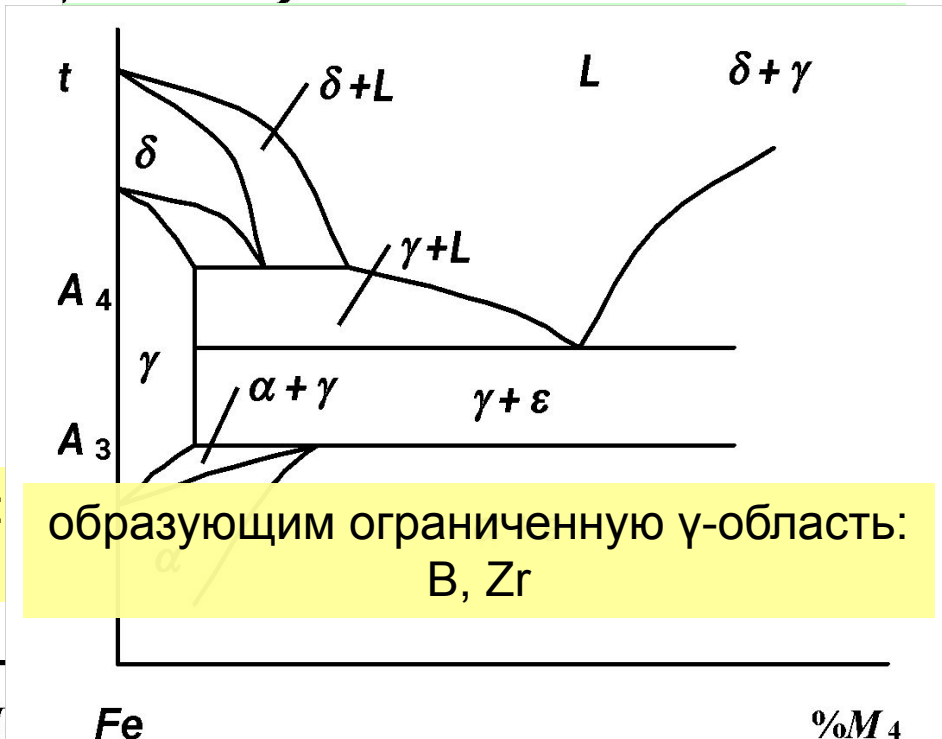
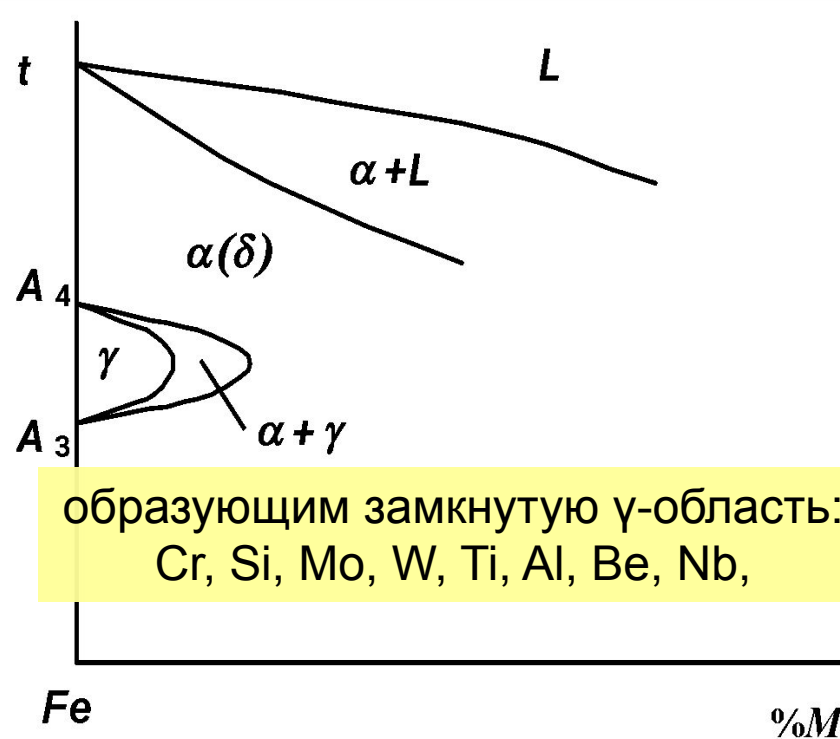
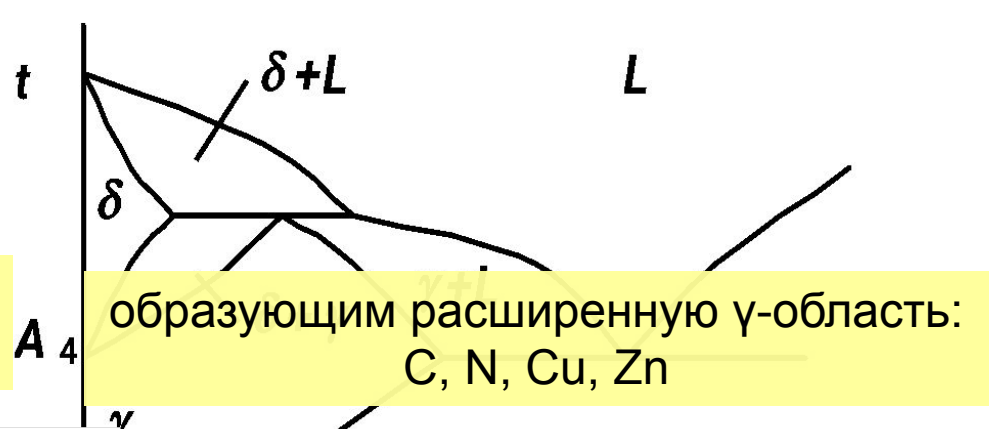
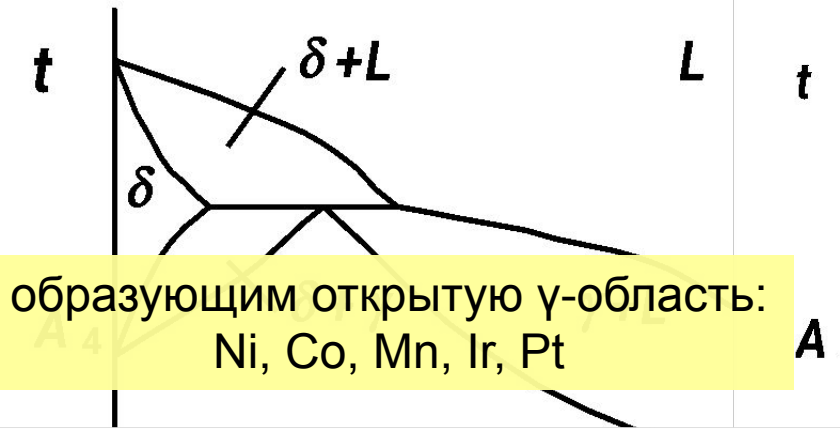


# Легированные стали

# Типовые диаграммы фазового равновесия железа с легирующим элементом- $\gamma$ -стабилизатором



# Классификации легированных сталей

- I Все стали *по количеству легирующих элементов* делятся на: углеродистые (нелегированные);  
низколегированные – суммарное содержание легирующих элементов до 2,5%;  
среднелегированные или легированные – суммарное содержание лег. элементов от 2,5 до 10%;  
высоколегированные - суммарное содержание легирующих элементов более 10%;
- II Кроме того, стали подразделяют в зависимости от того, *какие химические элементы были в них введены*.  
Например, выделяют марганцовистые, хромоникелевые, хромомарганцевомолибденовые и др. стали.
- III Стали также классифицируют по структуре фазового равновесия на классы – перлитный, ферритный, аустенитный, ледебуритный и полужерритный.

# Классификации легированных сталей

- IV** Принято классифицировать стали по структуре, получающейся при охлаждении с 900 °С на воздухе образцов диаметром 25 мм (классификация по Гийе), на следующие структурные классы: перлитный, бейнитный, мартенситный, ледебуритный, аустенитный и ферритный. Кроме того, выделяют смешанные классы – аустенито-ферритный и феррито-мартенситный и другие.
- V** Все стали подразделяют по назначению на **конструкционные** (строительные, машиностроительные, жаропрочные, жаростойкие, коррозионностойкие), **инструментальные** и стали с **особыми физическими свойствами**.

# Конструкционные материалы

- **Конструкционными называют материалы**, предназначенные для изготовления деталей машин, приборов, инженерных конструкций, подвергающихся механическим нагрузкам.
- **Основное требование – конструкционная прочность** – комплекс физико-химических и механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу материала в условиях эксплуатации.

# Конструкционные материалы

## Общая классификация конструкционных материалов

- Материалы, обеспечивающие жесткость, статическую и циклическую прочность – **конструкционные стали**
- Материалы с особыми технологическими свойствами
- Износостойкие материалы
- Материалы с высокими упругими свойствами
- Материалы с малой плотностью
- Материалы с высокой удельной прочностью
- Материалы, устойчивые к воздействию температуры и рабочей среды

# Конструкционные стали

## Общие принципы разработки конструкционных сталей

- 1) Решающая роль в составе конструкционных сталей отводится углероду. Он увеличивает прочность стали, но снижает пластичность и вязкость, повышает порог хладоломкости. Поэтому его содержание регламентировано и редко превышает 0,6 %.
- 2) Влияние на конструкционную прочность оказывают легирующие элементы. Повышение конструкционной прочности при легировании связано с обеспечением высокой прокаливаемости, уменьшением критической скорости заковки, измельчением зерна.
- 3) Применение упрочняющей термической обработки улучшает комплекс механических свойств.

**Разделяют конструкционные стали по прочности –**

- нормальной (средней) прочности -  $\sigma_B$  до 1000 МПа;
- повышенной прочности -  $\sigma_B$  до 1500 МПа;
- высокопрочные -  $\sigma_B$  выше 1500 МПа.

**В основном различают конструкционные стали строительные, машиностроительные, в том числе специального назначения, а также коррозионностойкие и жаропрочные и жаростойкие.**

# Конструкционные стали

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ СТАЛИ** – к строительным относят стали, применяемые для изготовления металлических конструкций и сооружений, а также для арматуры железобетона.

Строительные стали делят на 7 категорий прочности: С380/230 (в числителе – временное сопротивление разрыву при растяжении, в знаменателе - предел текучести) – стали нормальной прочности; С460/330 и С520/400 – строительные стали повышенной прочности; С600/450, С700/600 и С850/750 – стали высокой прочности.

Аналогично арматурные стали делят на классы от А-I до А-VII

**Углеродистые горячекатаные стали обыкновенного качества** бывают спокойными (сп), полуспокойными (пс) и кипящими (кп). Различие также проявляется в содержании кремния – **сп** – 0,12-0,30%; **пс** – 0,05-0,17%; **кп** – менее 0,07%.

Пример -**Ст5Гпс2** – сталь Ст5, полуспокойная, с повышенным содержанием марганца, категории 2



# Конструкционные стали

## **МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ СТАЛИ –**

конструкционные стали, предназначенные для изготовления различных деталей машин, механизмов и отдельных видов изделий

Классифицируют по составу (углеродистые, легированные); по обработке (улучшаемые, нормализуемые, цементуемые, азотируемые, мартенситно-старяющие и др.), по назначению (пружинные, шарикоподшипниковые, криогенные и т.д.)

# МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ СТАЛИ

- *Низкоуглеродистые стали* 05 кп, 08, 10, 10 пс обладают малой прочностью высокой пластичностью. Применяются без термической обработки для изготовления малонагруженных деталей, в основном методом холодной штамповки – шайб, прокладок и т.п. Стали 10, 15, 20 и 25 используют как цементируемые.
- *Среднеуглеродистые стали* 35, 40, 45, а также легированные марганцем 30Г, 40Г и 50Г (0,7-1,0% марганца для повышения прокаливаемости - критический диаметр до 25-30 мм) применяются после нормализации, термического улучшения, поверхностной закалки. В нормализованном состоянии по сравнению с низкоотпущенным обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью. После термического улучшения наблюдается наилучшее сочетание механических свойств. После поверхностной закалки обладают высокой поверхностной твердостью и сопротивлением износу.
- *Высокоуглеродистые стали* 60, 65, 70, 75 используются как рессорно-пружинные после среднего отпуска. В нормализованном состоянии – для прокатных валков, шпинделей станков.

# МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ СТАЛИ

- **Цементуемые стали** - используются для изготовления деталей, работающих на износ и подвергающихся действию переменных и ударных нагрузок. Цементации подвергаются низкоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,25%, что позволяет получить вязкую сердцевину. Для деталей, работающих с большими нагрузками, применяются стали с повышенным содержанием углерода (до 0,35 %).
- **Цементуемые углеродистые стали** 15, 20, 25 используются для изготовления деталей небольшого размера, работающих в условиях изнашивания при малых нагрузках (втулки, валики, оси, шпильки и др.)
- **Цементуемые легированные стали** применяют для более крупных и тяжело нагруженных деталей, в которых необходимо иметь, кроме высокой твердости поверхности, достаточно прочную сердцевину (кулачковые муфты, поршни, пальцы, втулки)
- **Азотируемые стали.** Наиболее широко применяется сталь 38Х2МЮА, кроме неё изготовлены стали 30Х3ВА, 30ХН2ВФА, 40ХНВА, 20Х3МВФА и др. Изготавливают шпиндели, опоры качения, гильзы, ходовые винты. Стали 28Х2Н4ВА, 38ХН3МА, 30Х3ВА, 20ХГН2МФ применяют для изготовления деталей машин, работающих в условиях циклических изгибных или контактных нагрузок. После азотирования образуется слой с нитридными или карбонитридными выделениями, толщиной 0,015-0,030 мм. Этот слой отличается высокими коррозионной стойкостью, твердостью, пределом прочности и текучести, повышается усталостная прочность стали.

# МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ СТАЛИ

- **Улучшаемые стали.** Стали, подвергаемые термическому улучшению (закалке с отпуском), широко применяют для изготовления различных деталей, работающих в сложных напряженных условиях. Стали приобретают структуру сорбита, хорошо воспринимающую ударные нагрузки. Важное значение имеет сопротивление хрупкому разрушению.

Улучшению подвергаются стали с содержанием С - 0,30...0,50 %.

- **Улучшаемые углеродистые стали** 35, 40, 45 дешевы, из них изготавливают детали, испытывающие небольшие напряжения (сталь 35), и детали, требующие повышенной прочности (стали 40, 45). Но термическое улучшение этих сталей обеспечивает высокий комплекс механических свойств только в деталях небольшого сечения, так как стали обладают низкой прокаливаемостью. Стали этой группы можно использовать и в нормализованном состоянии.
- Детали, требующие высокой поверхностной твердости при вязкой сердцевине (зубчатые колеса, валы, оси, втулки), подвергаются поверхностной закалке токами высокой частоты. Для снятия напряжений проводят низкий отпуск.
- **Улучшаемые легированные стали.** Улучшаемые легированные стали применяют для более крупных и более нагруженных ответственных деталей. Стали обладают лучшим комплексом механических свойств: выше прочность при сохранении достаточной вязкости и пластичности, ниже порог хладоломкости.
- Примеры: 30Х, 40Х, 50Х, 45ХН, 30ХНЗА, 36Х2Н2МФА, 38ХН3ВА, 40Г2

## Высокопрочные машиностроительные конструкционные стали

Высокопрочными называют стали, имеющие предел прочности более 1500 МПа

- 1) Легированные низкоотпущенные стали. Среднеуглеродистые легированные стали, (30ХГСН2А, 40ХН2МА) после **закалки с низким отпуском** (при температуре 200...250 оС) или **изотермической закалки** с получением структуры нижнего бейнита.
- 2) Высокая прочность может быть получена и за счет термомеханической обработки. Стали 30ХГСА, 38ХН3МА после низкотемпературной термомеханической обработки имеют предел прочности 2800 МПа
- 3) Мартенситно-старяющие стали (03Н18К9М5Т, 04Х11Н9М2Д2ТЮ) превосходят по конструкционной прочности и технологичности среднеуглеродистые легированные стали. Они обладают малой чувствительностью к надрезам, высоким сопротивлением хрупкому разрушению и низким порогом хладноломкости при прочности около 2000 МПа

Мартенситно-старяющие стали представляют собой безуглеродистые сплавы железа с никелем (8..25 %), дополнительно легированные кобальтом, молибденом, титаном, алюминием, хромом

# Машиностроительные стали

**Пружинные стали** - углеродистые (65, 70) и легированные (60С2, 50ХГС, 60С2ХФА, 55ХГР, 65Г)

Для сталей, используемых для пружин, необходимо обеспечить сквозную прокаливаемость, чтобы получить структуру троостита по всему сечению.

Упругие и прочностные свойства пружинных сталей достигаются при изотермической закалке.

Пружинные стали легируют элементами, которые повышают предел упругости – Si, Mn, Cr, W, V, B.

**Шарикоподшипниковые стали** - высокое содержание углерода (около 1 %) и наличие хрома (ШХ9, ШХ15) .  
Подвергаются воздействию высоких нагрузок переменного характера. Основными требованиями являются высокая прочность и износостойкость, высокий предел выносливости, отсутствие концентраторов напряжений, неметаллических включений, полостей, ликваций.

## Конструкционные стали специального назначения

- Криогенные стали.
- Износостойкие стали.
- Стали повышенной обрабатываемости.
- Автоматные стали.
- Рельсовые стали.

Рельсы Р75 и Р60 по ГОСТ 24182-80 изготавливают из стали М76 (0,71-0,82 %С, 0,75-1,05 %Mn, 0,18-0,40 %Si, менее 0,035 %P и 0,045 %S).

Р50 из стали М74 (0,69-0,80%С). После горячей прокатки рельсы подвергают изотермической обработке для удаления водорода (устранение флокенов). Рельсы подвергают объемной закалке в масле по всей длине.



- **Технологическая пластичность** – способность металла подвергаться горячей и холодной деформации. В первую очередь необходима сталям для штамповки. Необходимо ограничить содержание углерода, повышающего твердость и прочность – менее 0.1%, при 0,2-0,3 %С возможна только гибка и незначительная вытяжка, а при 0,35-0,45%С – изгиб большого радиуса. Стали типа 05, 08, 10 всех видов раскисления. Их поставляют в виде тонкого холоднокатаного листа, подвергнутого рекристаллизационному отжигу при температуре 650-690 оС. Для холодной штамповки используют 08Фкп с 0,02-0,04 %V или 08Юкп.
- **Свариваемость** – способность получения сварного соединения, равнопрочного с основным металлом. Для образования сварного соединения важно, что в сварном шве не было различных дефектов – пор, непроваров и, главное, трещин. Свариваемость стали тем выше, чем меньше в ней углерода и легирующих элементов. Стали, содержащие менее 0,25 %С. – БСт0, БСт1-БСт4, ВСт1-ВСт4, 05, 08, 10, 15, 20, 25; 09Г2(Д), 09Г2С, 14Г2, 15ГФ(Д), 16ГС, 17ГС (трубопроводы, мостостроение, вагоностроение, судостроение) 14Г2АФ(Д), 15Г2СФ(Д), 16Г2АФ (ГОСТ 19282-73) – мосты, металлоконструкции цехов, кранов, резервуаров



# Сплавы Fe-C с высокими литейными свойствами

Наилучшими литейными свойствами обладают чугуны – серые, высокопрочные, ковкие.

- **Серые чугуны** содержат – 2,2-3,7%С; 1-3%Si; 0,2-1,1 %Mn; 0,02-0,3 %P и 0,02-0,15%S. Допустимо небольшое количество Cr, Ni и Cu. В марках серых чугунов после букв СЧ ставят предел прочности в МПа/10
- **Высокопрочные чугуны** – чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму в результате модифицирования магнием (0,02-0,08%) или церием. Обычно состав – 3-3,6%С, 1,1-2,9 %Si, 0,3-0,7 %Mn, до 0,02%S и до 0,1%P. Обычно высокопрочные чугуны имеют ферритную или перлитную основу, допускается до 20% второй структурной составляющей в металлической основе. В марках – ВЧ и предел прочности в МПа/10
- **Ковкие чугуны.** Получают отжигом доэвтектических белых чугунов, содержат хлопьевидный графит. Отливки из белого чугуна изготавливают тонкостенными (сечение не более 50 мм), чтобы в середине при кристаллизации не выделялся пластинчатый графит, по этой же причине эти чугуны имеют пониженное содержание углерода и кремния. Обычно: 2,4-2,9 % С, 1,0-1,6 %Si, 0,2-1,0 %Mn, до 0,2 %S и до 0,18 %P. В марках - КЧ, за которыми два числа, обозначающих минимальные величины  $\sigma_B$  в МПа/10 и относительное удлинение  $\delta\%$

# МАТЕРИАЛЫ, УСТОЙЧИВЫЕ К ВОЗДЕЙСТВИЮ

## ТЕМПЕРАТУРЫ И РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

- **Коррозионно-стойкие стали** – эксплуатация в агрессивной среде.

*Коррозией* называют разрушение металла под воздействием окружающей среды.

**Хромистые стали.** Содержание Cr не менее 13% (13...18%). Стали ферритного класса 08X13, 12X17, 08X25T, 15X28 (для емкостей и труб), стали мартенситного класса 20X13, 30X13, 40X13. После закалки и отпуска при 180...250°C стали 30X13, 40X13 используются для изготовления режущего инструмента (хирургического), пружин для работы при температуре 400...450°C.

**Хромоникелевые стали.** Для повышения механических свойств ферритных хромистых сталей в них добавляют 2...3 % никеля. Стали 10X13Н3, 12X17Н2 используются для изготовления тяжело нагруженных деталей, работающих в агрессивных средах. Стали аустенитного класса – высоколегированные хромоникелевые стали (04X18Н10, 12X18Н9Т)

- **Жаростойкие стали**

*Жаростойкость (окалиностойкость)* – это способность металлов и сплавов сопротивляться газовой коррозии при высоких температурах в течение длительного времени. Для ее увеличения в сталь- Cr, Si, Al.

Примеры - 15X25T, 08X17T, 36X18Н25С2, 15X6СЮ

- **Жаропрочные стали** (легируют V, Mo, Cr, Ni)

*Жаропрочность* – это способность металла сопротивляться пластической деформации и разрушению при высоких температурах.

*Ползучесть* – свойство металла медленно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки при постоянной температуре.

# Инструментальные стали

## 1. Стали для режущего инструмента.

- Стали У7...У13А. Из сталей марок У7, У8А изготавливают инструмент для работы по дереву и инструмент ударного действия, когда требуется повышенная вязкость – пуансоны, зубила, штампы, молотки. Стали марок У9...У12 обладают более высокой твердостью и износостойкостью – используются для изготовления сверл, метчиков, фрез. Сталь У13 обладает максимальной твердостью, используется для изготовления напильников, граверного инструмента.

Недостатки - невысокая прокаливаемость (5...10 мм), низкая теплостойкость (до 200°C), то есть инструменты могут работать только при невысоких скоростях резания.

- Низколегированные стали. Содержат 0,9...1,4 %С. Легирующие – Cr, W, V, Mg, Si и др. Общее содержание легирующих до 5%. Для деревообрабатывающего инструмента - стали 6ХС и 9ХФ. Сталь 9ХС используют для фрез, сверл, резьбонарезных инструментов размеров до 35 мм. “Алмазная” сталь ХВ5, в термически обработанном состоянии имеет избыточную мелкодисперсную карбидную фазу М6С. Твердость составляет HRC 65...67. Сталь для инструмента, сохраняющего длительное время острую режущую кромку и высокую размерную точность (развертки, фасонные резцы, граверный инструмент).
- Быстрорежущие стали. В следствие высокой теплостойкости (550...650°C), изготовленные из них инструменты могут работать с достаточно высокими скоростями резания. Стали содержат 0,7...1,5 % углерода, до 18 % основного легирующего элемента – вольфрама, до 5 % хрома и молибдена, до 10 % кобальта. Основными видами режущих инструментов из быстрорежущей стали являются резцы, сверла, долбяки, протяжки, метчики машинные

# Инструментальные стали

## 2. Стали для измерительных инструментов

Основные требования - высокая твердость и износостойчивость, стабильность в размерах в течение длительного времени. Последнее требование обеспечивается минимальным ТКЛР и сведением к минимуму структурных превращений во времени.

- высокоуглеродистые инструментальные стали, легированные и углеродистые (стали У12, X, X9, XГ, XВГ, 9XC), после закалки и стабилизирующего низкотемпературного (120...170 °C ) отпуска в течение 10...30 ч.
- малоуглеродистые стали (сталь 15, 20, 15X, 20X, 12ХН3А) после цементации и закалки с низким отпуском; Изготавливают плоские инструменты (скобы, линейки, шаблоны)
- стали 50 и 55, подвергаемые поверхностной закалке ТВЧ. Изготавливают плоские инструменты (скобы, линейки, шаблоны)
- нитралои (сталь 38ХМЮА) после азотирования на высокую твердость. Используют для инструментов сложной формы и размеров.

# Инструментальные стали

**3. Штамповые стали.** Инструмент, применяемый для ОМД (штампы, пуансоны, матрицы) изготавливают из штамповых сталей.

Различают стали для штампов холодного и горячего деформирования

Стали для штампов холодного деформирования. У10, У11, У12 после закалки и низкого отпуска (вытяжные и высадочные штампы); Х, Х6ВФ, 9ХС, ХВГ, ХВСГ (крупные штампы); Х12, Х12М, Х12Ф1 (шт сложной формы); 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С – применяют для ударного инструмента

Стали для штампов горячего деформирования. Для изготовления молотовых штампов - 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХСМФ. W и Mo - для снижения склонности к отпускной хрупкости. После термической обработки, включающей закалку с температуры 760...820°C и отпуск при 460...540°C, сталь имеет структуру – сорбит или троостит и сорбит отпуска. Твердость 40...45 HRC.

- 5ХНМ – крупные штампы сложной формы, 5ХГМ и 5ХНВС – обладают более низкой вязкостью чем 5ХНМ, используются для средних штампов.
- Штампы горячего прессования работают в более тяжелых условиях. Для их изготовления применяются стали повышенной теплостойкости. Сталь 3Х2В8Ф сохраняет теплостойкость до 650°C, но наличие карбидов вольфрама снижает вязкость. Сталь 4Х5В2ФС имеет высокую вязкость. Повышенное содержание Cr и Si увеличивает окалиностойкость.
- Стали 3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ, 4Х5В2ФС – близки к быстрорежущим сталям, закаливают с 1025-1125 °С, затем подвергают отпуску 500-580 °С. Изготавливают инструменты высокоскоростной штамповки.
- Пресс-формы – стали 4ХВ2С, Х12, 7Х3, 8Х3, коррозионно-стойкую 30Х13, конструкционные стали 40Х, 30ХГС, азотируемые 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС.

# **Цветные металлы** **и** **сплавы**

# Цветные металлы и сплавы

Цветными называют все металлы, кроме железа, кобальта и марганца, а также щелочных и щелочноземельных металлов.

## Группы цветных металлов:

- *Легкие* (с плотностью меньше  $5 \text{ г/см}^3$ ): Al, Mg, Be, Ti.
- *Тяжелые*: Cu, Ni.
- *Тугоплавкие* : W, Mo, Nb, V, Cr, Ta и др.
- *Легкоплавкие*: Sn, Pb, Zn и др.
- *Драгоценные*: Au, Ag, Pt и др.
- *Радиоактивные*: U, Pu и др.

# Атомно-кристаллическая структура и физико-механические свойства цветных металлов ( $T_{\text{комн.}}$ )

Me		$T_{\text{пл}},$ $^{\circ}\text{C}$	Плотн, $\text{г/см}^3$	E, ГПа	$\rho,$ $\text{мкОм}\cdot\text{с}$ М	$\lambda,$ $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$
Al	ГЦК	660	2,70	72	2,67	238
W	ОЦК	3410	19,2	420	5,4	174
Au	ГЦК	1063	19,3	79	2,20	315
Cu	ОЦК	1083	8,96	125	1,69	394
Ni	ГЦК	1455	8,9	205	6,9	88
Sn	ОЦТ	232	7,3	49	12,6	73
Pb	ГЦК	327	11,7	24	20,6	35
Ag	ГЦК	961	10,5	81	1,63	425
Ti	ГП	1670	4,5	108	54	21,6
Cr	ОЦК	1860	7,1	240	13,2	91
Zn	ГП	420	7,14	94	5,96	119,5



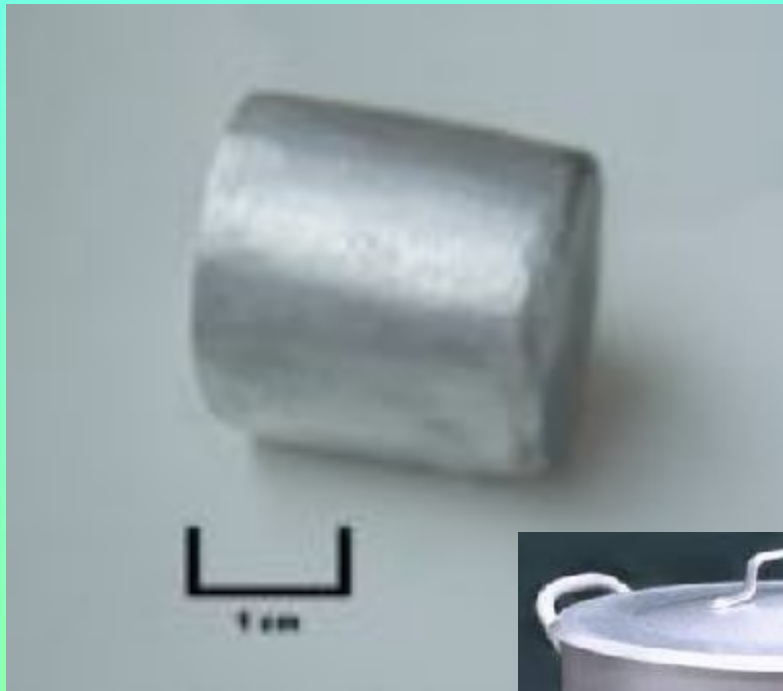
# Свойства и применение цветных металлов

Достоинства и недостатки алюминия, меди и титана

Характерная черта	Al	Cu	Ti
Низкая стоимость	+	-	-
Низкое удельное электрическое сопротивление	+	+	-
Высокая теплопроводность	+	+	-
Высокая коррозионная стойкость	+	±	+
Низкая плотность	+	-	+
Высокая прочность	-	±	+
Высокая удельная прочность	+	-	+
Высокая пластичность	+	+	+
Обработываемость давлением	+	+	+
Обработываемость резанием	-	±	-

# Алюминий

Металл серебристо-белого цвета, лёгкий



# Общая характеристика алюминиевых сплавов

- 1 место среди цвет. металлов по объему производства - более 20 млн т (15% РФ)
- Цена - 1300- 1800 \$/т
- Высокая коррозионная стойкость
- Высокая электропроводность (2/3 от Cu)
- Высокая технологичность
- Возможность использования отходов



# Области применения алюминиевых сплавов

- самолетостроение
- транспорт
- электротехника
- строительство
- пищевая промышленность
- ширпотреб
- специальные области



# Медь

Медь — золотисто-розовый пластичный металл, на воздухе быстро покрывается оксидной плёнкой, которая придаёт ей характерный интенсивный желтовато-красный оттенок



# Общая характеристика медных сплавов

- Медь по величине электрического сопротивления уступает лишь серебру
- Многие медные сплавы характеризуются хорошей жидкотекучестью
- Медь входит более чем в 170 минералов, из которых для промышленности важны лишь 17, в том числе: борнит (пестрая медная руда -  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), халькопирит (медный колчедан -  $\text{CuFeS}_2$ ), малахит ( $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ). Встречается также самородная медь.
- Медные сплавы по химическому составу делят на бронзы, латуни и медноникелевые сплавы

# Области применения медных сплавов

- Электротехнические материалы (более 50% всех сплавов меди используется здесь),
- в машиностроении,
- в автомобильной и тракторной промышленности (радиаторы, подшипники),
- для изготовления химически инертной аппаратуры.

# Титан

- Титан — легкий серебристо-белый металл, относится к тугоплавким металлам, обладает высокой прочностью и относится к легким металлам





# Преимущества титана

- распространенность в земной коре : (0,60%) четвертое место после алюминия (8,8 %), железа (5,1%) и магния (2,1%);
- небольшая плотность при высокой удельной прочности;
- необычайно высокая коррозионная стойкость;
- значительная прочность при повышенных температурах;
- Среди конструкционных металлов титан по распространенности занимает четвертое место, уступая лишь алюминию, железу и магнию.

# Применение титана и его сплавов

- Авиастроение и ракетостроение
- Судостроение: гребные винты; обшивка морских судов, подводных лодок, торпед...
- Криогенная техника.
- Химическая, нефтехимическая, пищевая, электроника, ядерная техника.
- Медицина: инструмент, имплантанты.
- Вооружения: броневые плиты, некоторые элементы боеприпасов.

# Примеси в цветных металлах

Me	Постоянные примеси	Взаимодействие с металлом-основой	Полезный эффект	Вредный эффект
Al	Fe, Si, Cu, Zn, Ti	Растворение	Упрочнение	Снижение пластичности
Cu	Al, Fe, Ni, Sn, Zn, Ag	Растворение	Упрочнение	Снижение пластичности
Cu	Pb	Образование легкоплавких эвтектик	Улучшение обрабатываемости резанием	Горячеломкость
Cu	Bi		нет	Горячеломкость и хрупкость
Cu	O	Образование тугоплавких эвтектик	Нет	Водородная болезнь
Cu	S, Se, Tl		нет	Снижение пластичности
Ti	H, O, N, C, Fe, Si	Образование промежуточных фаз	Незначительно е упрочнение	Охрупчивание, ухудшение коррозионной

# Классификация сплавов цветных металлов

- по химическому составу,
- по фазовому состоянию в отожденном состоянии (например, различают однофазные  $\alpha$ -и двухфазные  $(\alpha+\beta)$ -латуни, а для титановых сплавов используют названия  $\alpha$ -, псевдо  $\alpha$ -,  $(\alpha+\beta)$ -сплавы);
- по областям преимущественного применения (например, патронная латунь);
- по основной характеристике, определяющей особенности применения;
- по технологическим способам, используемым для получения изделий из рассматриваемого сплава (деформируемые, литейные, спекаемые сплавы);
- по возможности упрочнить сплав с помощью термической обработки (термически упрочняемые и термически неупрочняемые).

# Сплавы на основе меди

- Латунни (сплавы меди с цинком)
- Бронзы
- Медно-никелевые сплавы:
  - Мельхиор (мед. инструмент, украшения и монеты)
  - Нейзильбер (столовые приборы) (Cu-Ni-Zn)
  - Константан (низкий КТР) (Cu-Ni-Mn)
  - Манганин (низкий КТР) (Cu-Ni-Mn)

# Бронзы

- Бронзы– это сплавы меди, в которых основной добавкой является любой элемент, кроме цинка и никеля.
- Различают оловянные и безоловянные бронзы.
- Безоловянные бронзы подразделяют по основному легирующему элементу на
  - алюминиевые,
  - бериллиевые,
  - свинцовые,
  - хромовые и др.

# Оловянные бронзы

t, °C

1000

900

800

700

600

500

400

300

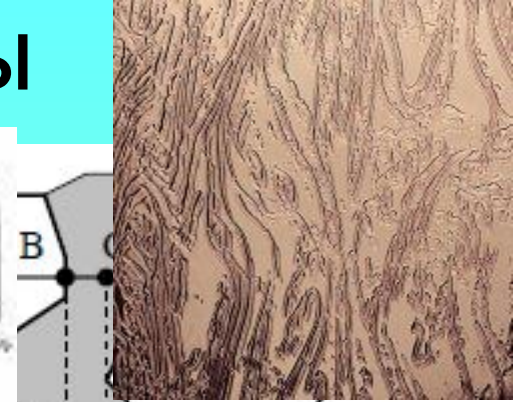
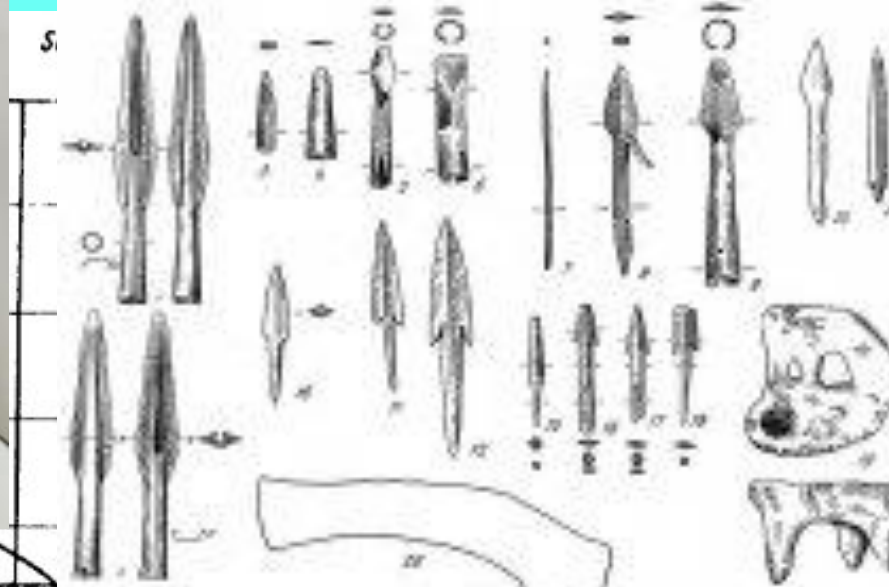
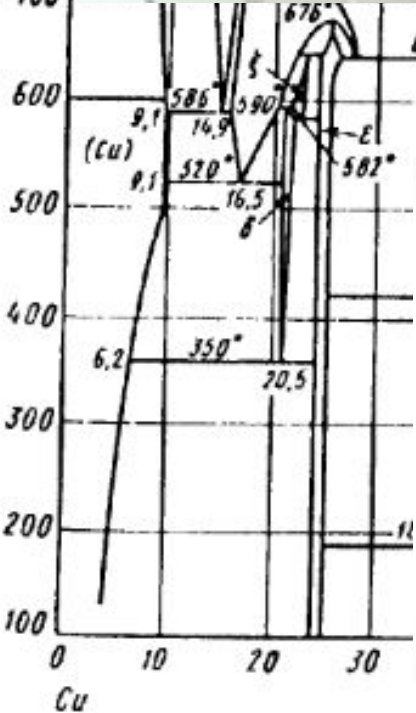
200

100

0

Cu

Sn



Sn, % (at.)

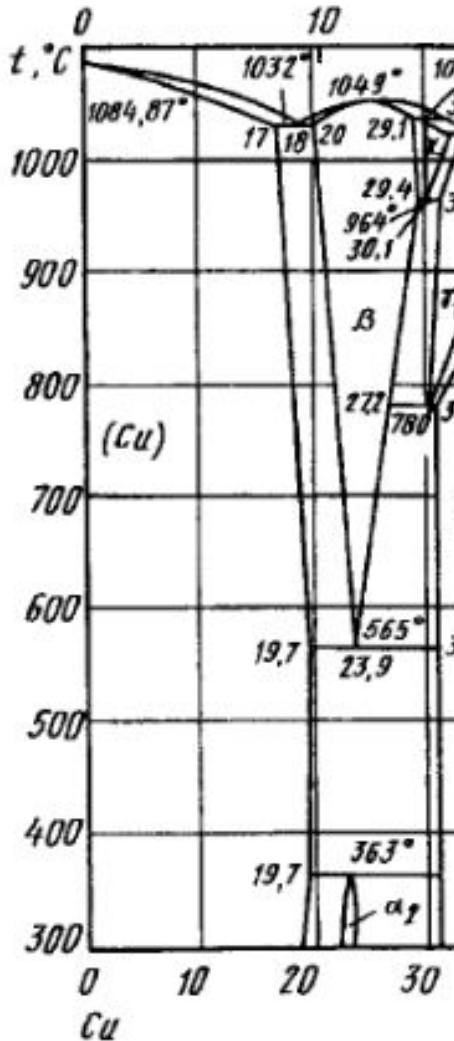
Sn



# Алюминиевые бронзы

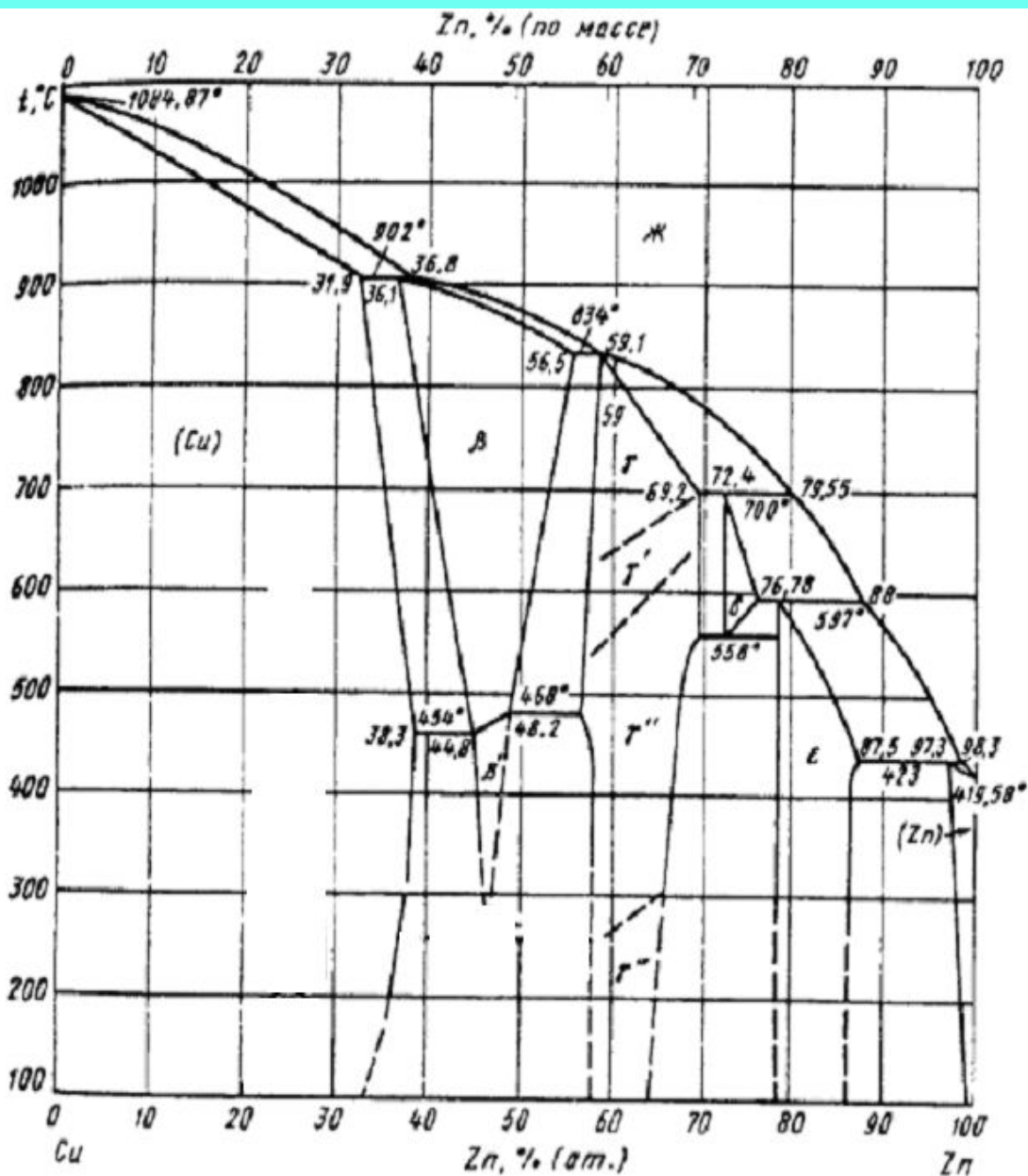
На практике используют

- однофазные алюминиевые бронзы, содержащие 5–8 % алюминия (БрА5, БрА7),
- и двухфазные доэвтектоидные бронзы с большим содержанием алюминия (БрА10, БрАЖ9-4, БрАЖМц10-3-1,5).
- Однофазные бронзы (БрА5, БрА7), имеющие хорошую пластичность, относятся к деформируемым. Они обладают наилучшим сочетанием прочности ( $\sigma_B = 400\text{--}450$  МПа) и пластичности ( $\delta_B = 60\%$ ).
- Двухфазные бронзы используют в качестве литейных или деформируемых в горячем состоянии. Особенностью двухфазных бронз является то, что их можно подвергать упрочняющей термической обработке.





# Латуни



- Медь с цинком образует твердый раствор ( $\alpha$ ) с ГЦК решеткой и предельной концентрацией цинка 39 %.
- При большем содержании цинка образуется промежуточная фаза  $\beta$  состава  $\text{CuZn}$ , имеющая ОЦК решетку.

# ЛАТУНИ

- Сплавы – меди с цинком

Классификация латуней:

- По составу: двойные и многокомпонентные
- По структуре:  $\alpha$  и  $\alpha+\beta$
- По назначению: литейные и деформируемые

## Двойные латуни (ГОСТ 15527-10)

- Пластичные ( $\delta=40-50\%$ ) , хорошо обрабатываются давлением
- Л90 – томпак,  $\sigma_{\text{в}}=260$  МПа
- Л68 – патронная,  $\sigma_{\text{в}}=330$  МПа
- Л63 – торговая,  $\sigma_{\text{в}}=360$  МПа

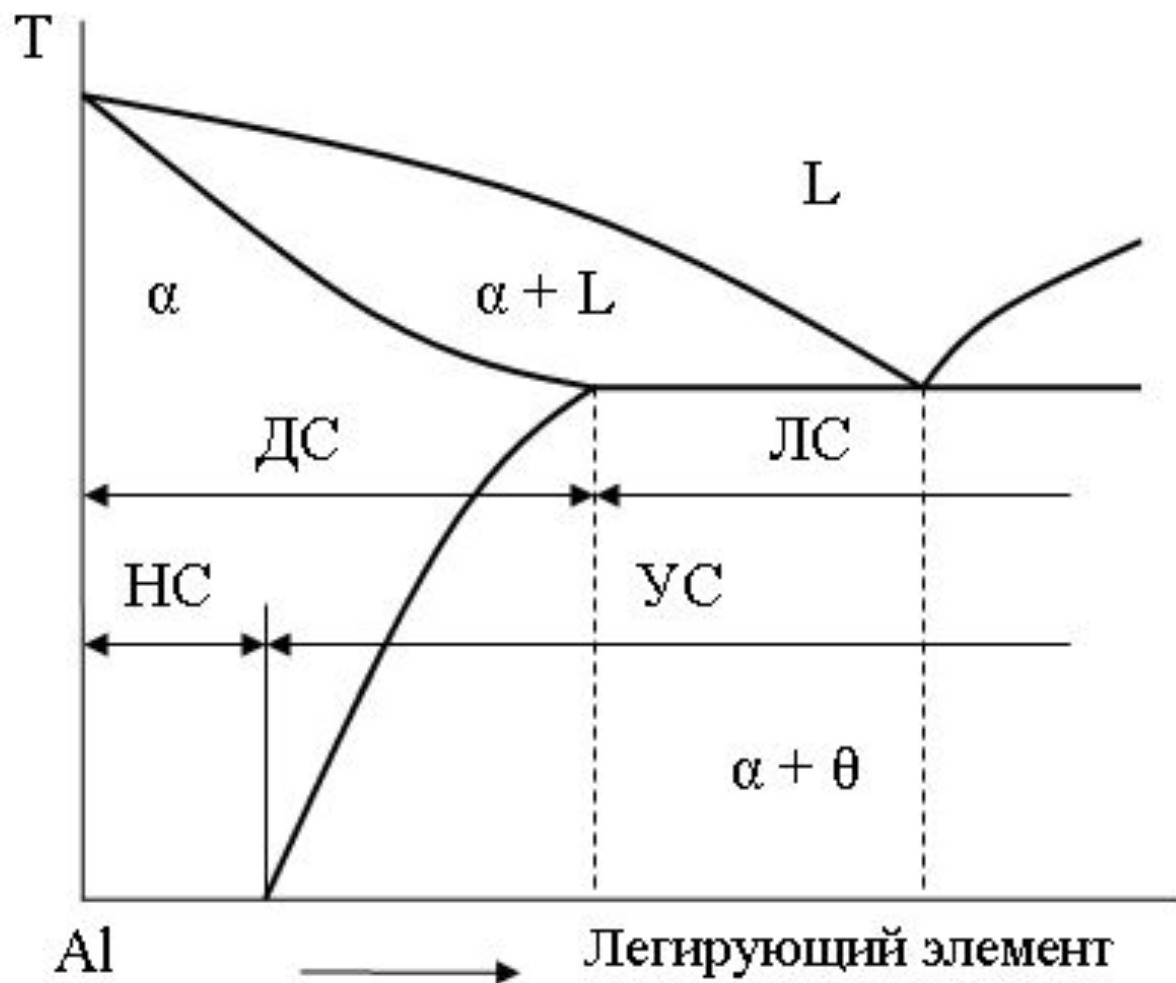
# Многокомпонентные латуни

- Доп. добавки: Fe, Al, Ni, Sn, Mn, Si
- ЛАЖМц70-3-2-2
- Коэффициенты замены цинка (Гийе)
- Si: 11, Al: 5, Sn: 2, Pb: 1, Fe:0,9,  
Mn:0,5
- Ni: -1,3
- $\sigma_B$  до 380 МПа

# Литейные латуни

- Узкий интервал кристаллизации – высокие литейные свойства
- Больше примесей по сравнению с деформируемыми латунями
- Наиболее прочная латунь
- ЛЦ23А6Ж3Мц2
- $\sigma_B = 650$  МПа

# Сплавы на основе алюминия

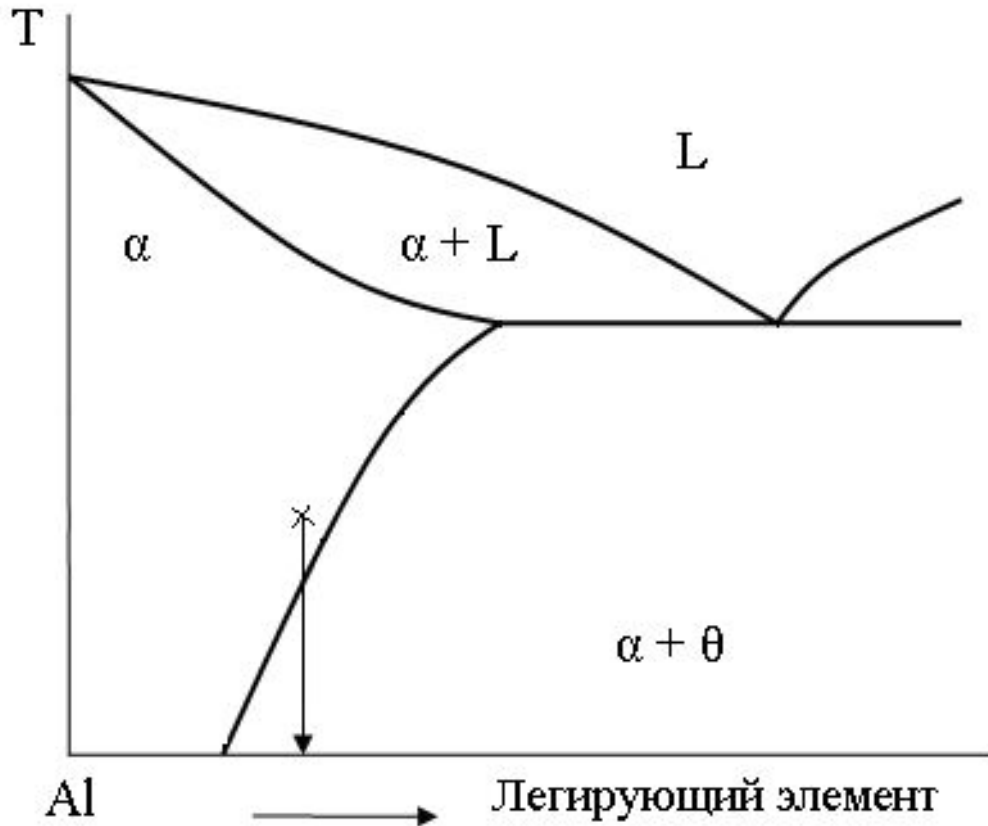


- ДС – АМг5К, АМгН, АМгП, Д16;
- ЛС – АЛ2, АЛ6;
- НС – АМг5К, АМгН, АМгП
- УС – Д16

# Сплавы на основе Al

- Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой, получают при введении в алюминий марганца или магния (АМг6).
- Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой:
  - дуралюмины(Al – Cu – Mg стойкости);
  - высокопрочные стареющие сплавы (Al – Zn – Mg – Cu);
  - авиали(Al – Mg – Si);
  - ковочные сплавы (Al – Mg – Si – Cu и Al – Cu – Mg – Fe – Ni).

# Старение



Старение— это термообработка, при которой в сплаве, подвергнутом закалке без полиморфного превращения, главным процессом является выделение дисперсных включений из пересыщенного твердого раствора. Наиболее широко применяется в сплавах Cu-Al.



# Старение

1. Образование зон Гинье–Престона.
2. Выделение метастабильных и стабильных фаз.
3. Коалесценция выделений.

Различают два основных типа старения:

- Естественное (возникновение полей упругих напряжений около зон ГП)
- Искусственное (выделение частиц метастабильных фаз)

# Сплавы на основе Al

- Литейные сплавы - сплавы систем Al – Si, Al – Cu и Al – Mg

Силумины: Al – Si

Силумин обычно модифицируют натрием, который в виде хлористых и фтористых солей вводят в расплав в количестве 2–3 % от массы сплава. Помимо модифицирующего действия натрия сдвигает эвтектическую точку в системе Al – Si в сторону больших содержаний кремния. Благодаря этому эвтектический по составу сплав АЛ2 становится доэвтектическим. В его структуре помимо мелкокристаллической эвтектики появляются первичные кристаллы мягкой пластичной фазы – твердого раствора. Все это приводит к одновременному увеличению пластичности и прочности.

Присадка магния и меди позволяют получить термически упрочняемые силумины, содействуя эффекту упрочнения литейных сплавов при старении.

Титан и цирконий измельчают зерно.

Марганец повышает антикоррозионные свойства.

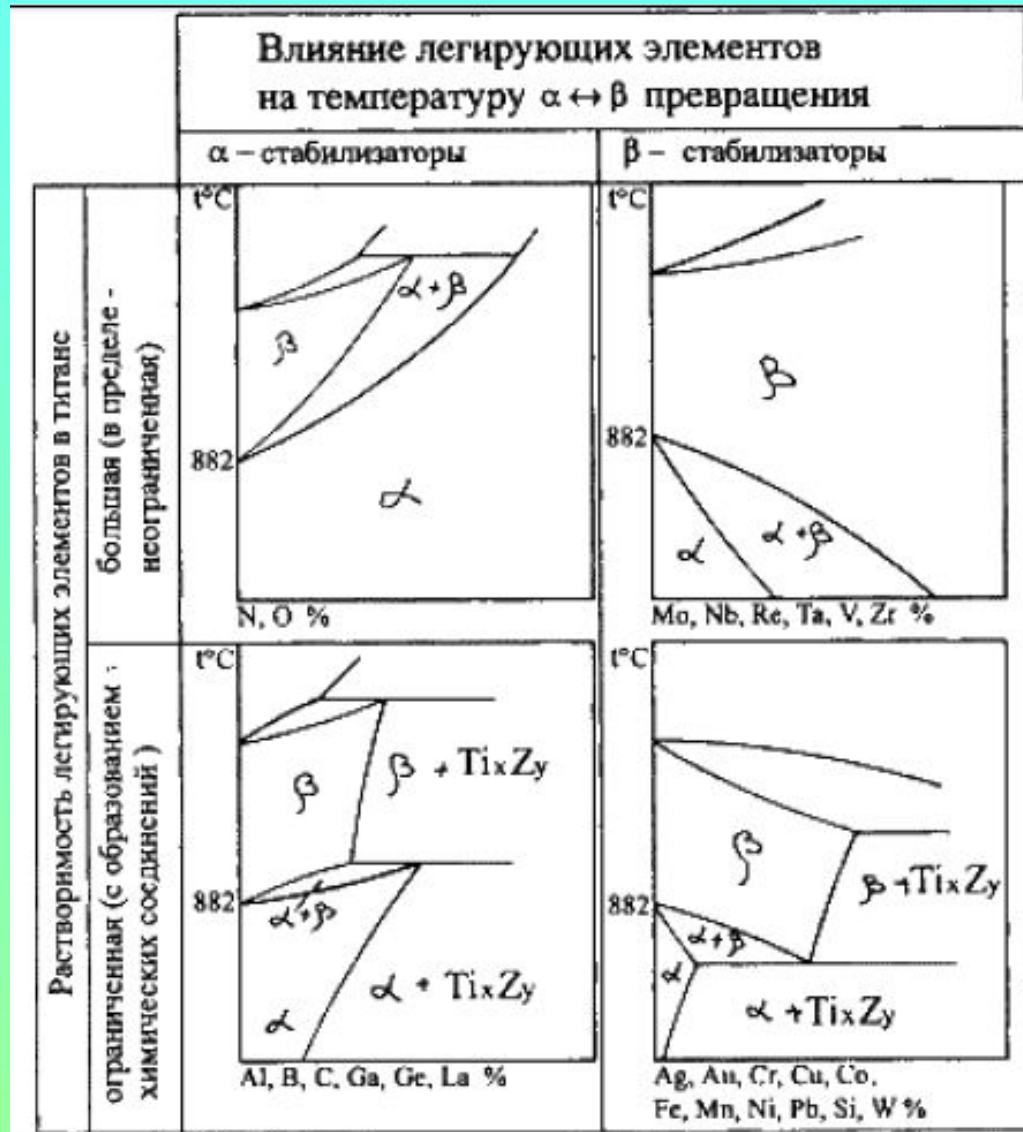
Никель и железо повышают жаропрочность.

# Технический титан

(остальное титан)

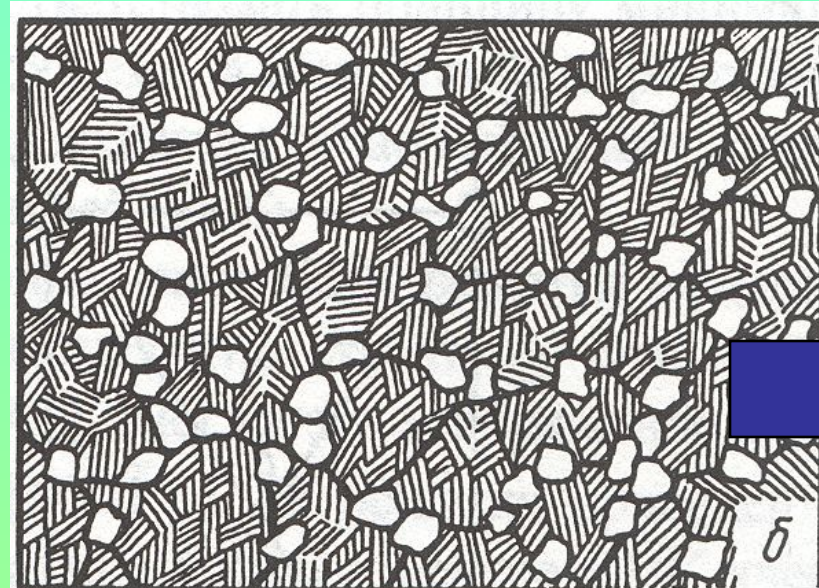
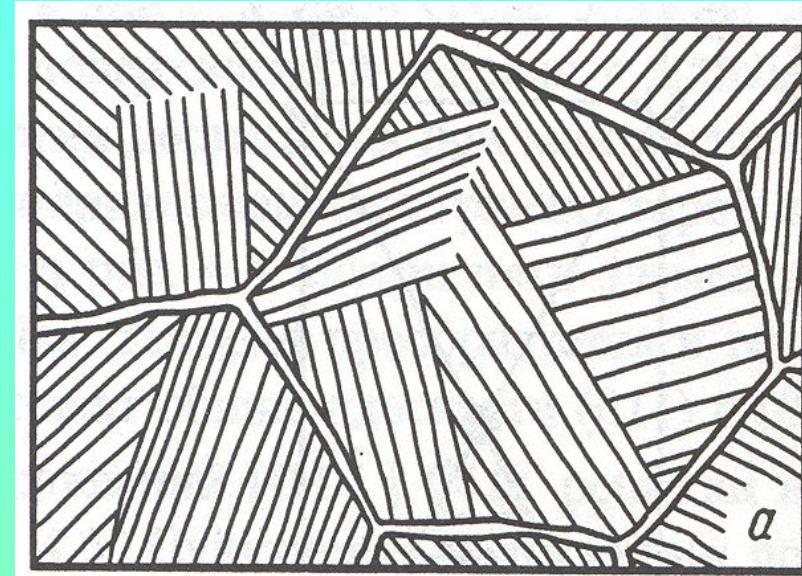
Марка	Примеси, %, не более						Прочие
	Fe	Si	C	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	
BT1-0	0,18	0,10	0,07	0,12	0,04	0,010	0,3
BT1-00	0,12	0,08	0,05	0,10	0,04	0,008	—

# Полиморфное превращение в Ti-



# Типы структур в Ti-сплавах

- Превращенная  $\beta$ -структура (получается при малых скоростях охлаждения).
- Бывшее  $\beta$ -зерно, в котором расположены  $\alpha$ -колонии.
- Смешанная или дуплексная структура (получается при нагреве в  $\alpha+\beta$  область и последующем медленном охлаждении).
- Состоит из первичной  $\alpha$ -фазы и  $\beta$ -превращенной матрицы.



# Классификация титана и его сплавов

1.  $\alpha$ -Ti сплавы, структура которых представлена  $\alpha$  - фазой;
2. псевдо- $\alpha$ -сплавы, структура которых представлена в основном  $\alpha$ -фазой и небольшим количеством  $\beta$ -фазы (не более 5%);
3. ( $\alpha+\beta$ )-сплавы, структура которых представлена в основном  $\alpha$  и  $\beta$ -фазами;
4. псевдо- $\beta$ -сплавы со структурой в отожженном состоянии, представленной  $\alpha$ -фазой и большим количеством  $\beta$ -фазы; в этих сплавах закалкой или нормализацией из  $\beta$ -области можно легко получить однофазную  $\beta$ -структуру;
5.  $\beta$ -сплавы, структура которых представлена термодинамически стабильной  $\beta$ -фазой.



# Классификация Ti-сплавов по структуре в

## **закаленном состоянии**

1. Сплавы мартенситного класса, структура которых после закалки из  $\beta$ -области представлена  $\alpha'$ -или  $\alpha''$ -мартенситом;
2. сплавы переходного класса, структура которых после закалки с температур  $\beta$ -области представлена мартенситом  $\alpha'$ ( $\alpha''$ ) и  $\beta$ -фазой, независимо от того образовалась в ней или нет  $\omega$ -фаза;
3.  $\beta$ -сплавы, структура которых после закалки представлена  $\beta$ - или  $\beta$  ( $\omega$ )-фазами.

# Состав промышленных Ti-сплавов

№ п/ п	Сплав	K <sub>β</sub>	Содержание легирующих элементов, %					
			Al	Zr	V	Mo	Cr	другие элементы

## *α-сплавы*

1	BT1-00							
2	BT1-0			—	—	—	—	
3	BT5-1		4,0-6,0	-	-	—	—	(2,0...3,0)Sn
4	ПТ7М		1,8-2,5	2,0-3,0	-	-	-	-