

## Лекция №5

# Термическая обработка сплавов

**Термической обработкой** называется совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутреннего строения и структуры.

**Цель термообработки** – придание сплавам таких свойств, которые требуются в процессе эксплуатации изделий.

Основные виды термической обработки  
– **отжиг, закалка, отпуск и старение.**

Все операции термообработки разделяются на **разупрочняющие** (отжиг) и **упрочняющие** (закалка с отпуском или старением).

# Разупрочняющая термообработка

**Отжиг** – термическая обработка, в результате которой металлы или сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной. Отжиг вызывает разупрочнение металлов, сопровождающееся повышением пластичности и снятием остаточных напряжений.

**Отжиг** заключается в нагреве изделий до определенной температуры, выдержке их при данной температуре с последующим медленным охлаждением вместе с печью. При этом заготовки или изделия получают устойчивую структуру без остаточных напряжений.

**Цели отжига** – снятие внутренних напряжений, устранение структурной и химической неоднородности, снижение твердости и улучшение обрабатываемости, подготовка к последующей операции термообработки.

# Упрочняющая термообработка

**Закалка** – ТО, в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура пересыщенного твердого раствора.

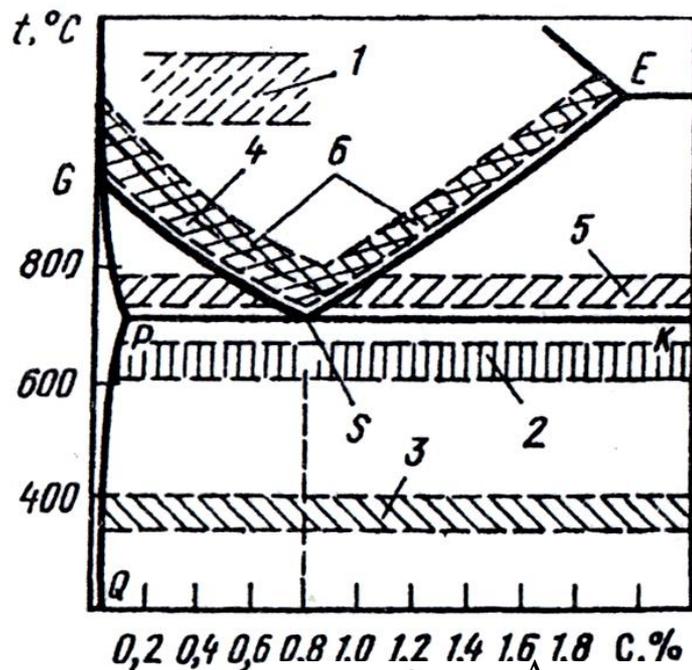
Сплав нагревают выше температуры фазового превращения в твердом состоянии, после чего быстро охлаждают, чтобы предотвратить равновесное превращение при охлаждении.

**Отпуск** –ТО, в результате которой в предварительно закаленном сплаве происходит фазовое превращение, приближающее его структуру к равновесной. После отпуска происходит распад пересыщенного твердого раствора, сформировавшегося при закалке. Отпущенная структура обеспечивает более высокие механические свойства по сравнению с отожженным состоянием.

**Старение** – ТО, в результате которой из пересыщенного твердого раствора выделяются мелкодисперсные частицы второй фазы, формирующие равновесную структуру. Старение закаленного сплава приводит к повышению прочности, без значительного снижения пластичности.

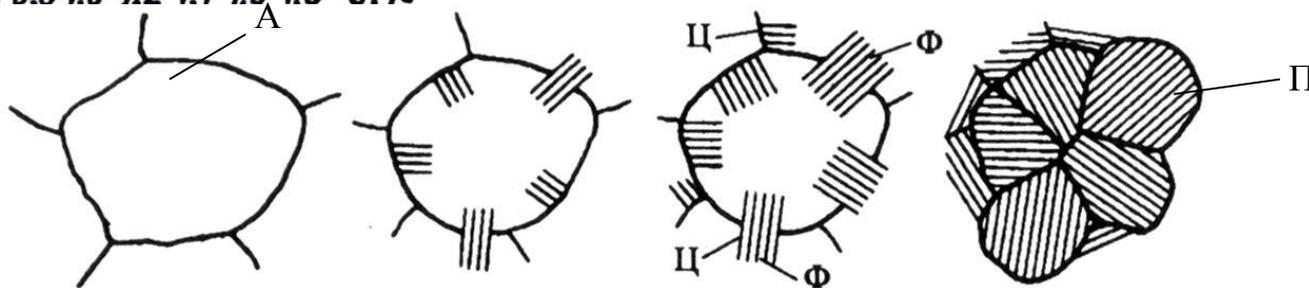
# Отжиг стали

Отжиг стали проводят для получения требуемой равновесной структуры с минимальной твердостью, с целью дальнейшей обработки получаемых деталей резанием. Изделие нагревают до нужной температуры и охлаждают вместе с печью.



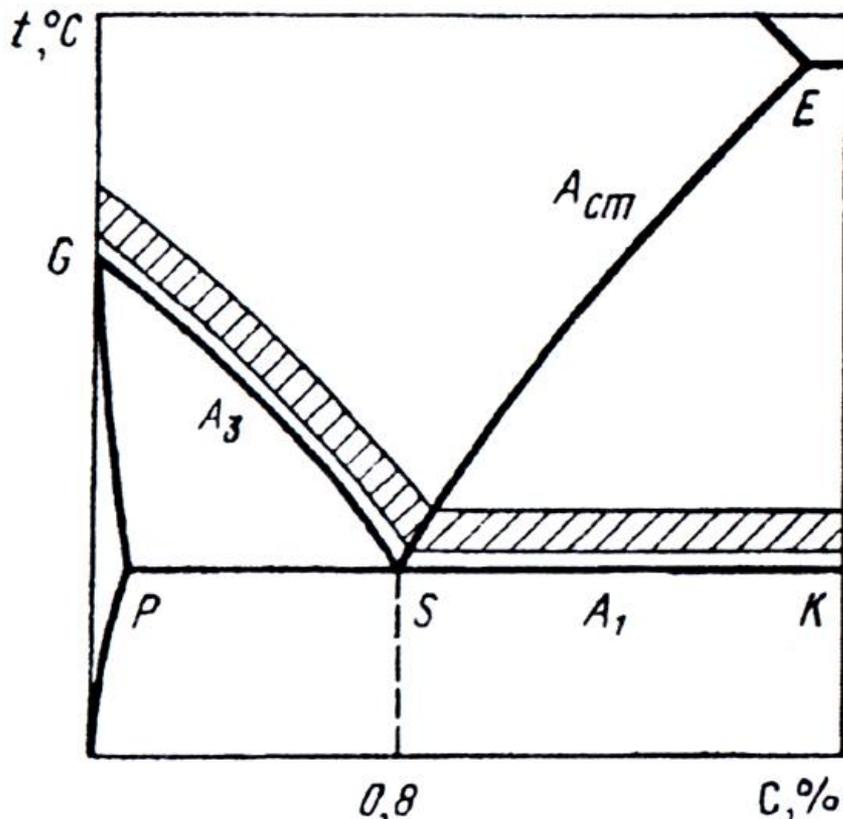
## Области нагрева стали при отжиге:

- 1 – диффузионном;
- 2 – рекристаллизационном;
- 3 – для снятия напряжений;
- 4 – полном;
- 5 – неполном;
- 6 – нормализационном.



Структурные превращение в эвтектоидной стали при полном отжиге

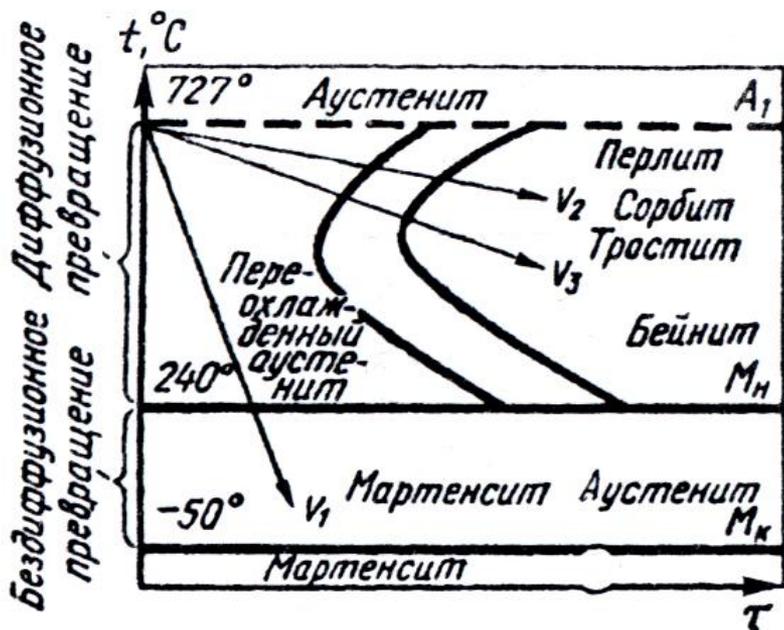
# Закалка стали



Температура нагрева при закалке стали зависит от ее химического состава. В **доэвтектоидных сталях** нагрев производится на  $30-50\text{ }^\circ\text{C}$  выше точек  $A_{c3}$ . Такую закалку называют **полной**.

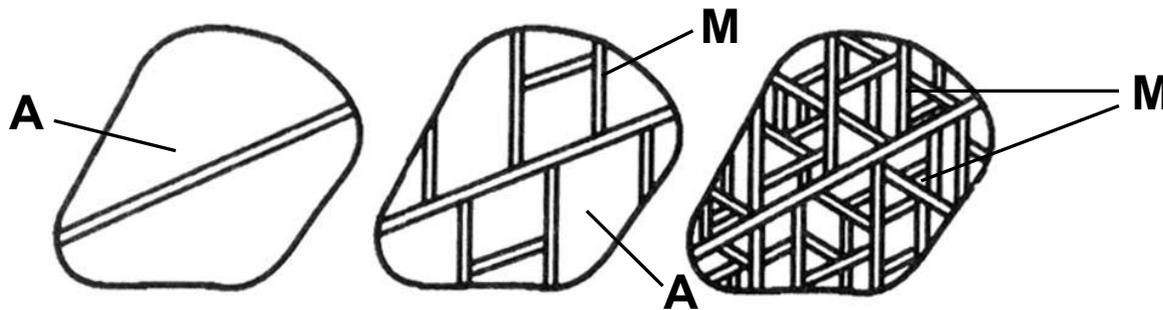
Для закалки **заэвтектоидной стали** наилучшей температурой является нагрев на  $30-50\text{ }^\circ\text{C}$  выше  $A_{c1}$ . Такую закалку называют **неполной**.

# Закалка стали

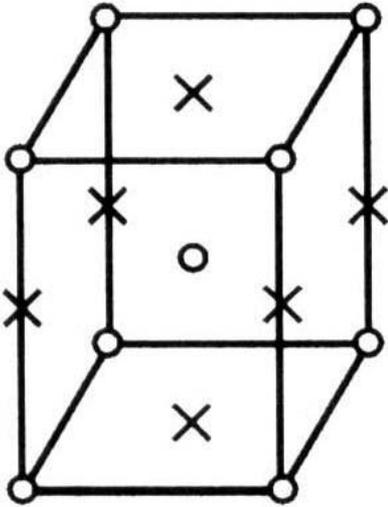


При охлаждении нагретой под закалку стали со скоростью выше критической (для конструкционных сталей охлаждение в воду) вместо диффузионного превращения аустенита в перлит, происходит бездиффузионное **мартенситное превращение**.

Образуется **мартенсит** — пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе.



# Закалка стали

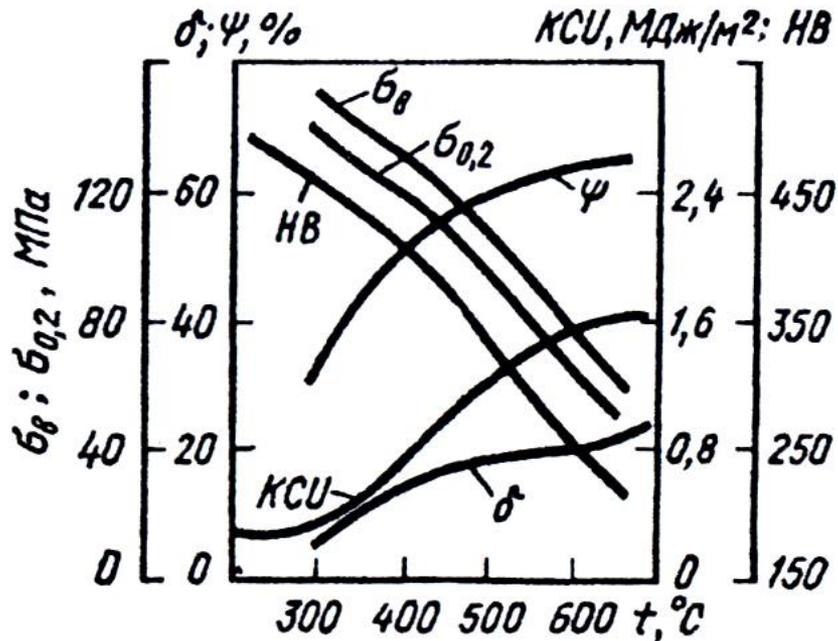


Мартенсит имеет ту же концентрацию углерода, что и исходный аустенит. Из-за высокой пересыщенности углеродом решетка мартенсита сильно искажается, вытягиваясь и приобретая вместо кубической тетрагональную форму. Благодаря этому, мартенсит имеет высокую твердость (до HRC 65) и хрупкость.

Способность стали закаливаться на мартенсит называется **закаливаемостью**. Она характеризуется значением твердости, приобретаемой сталью после закалки, и зависит от содержания углерода. Стали с низким содержанием углерода (до 0,3 %) практически не закаливаются, и закалка для них не применяется.



# Отпуск стали



**Отпуск стали** – термическая обработка, следующая за закалкой и заключающийся в нагреве стали до температуры ниже критической, выдержке и охлаждении.

**Цель отпуска** – получение более равновесной по сравнению с мартенситом структуры, снятие внутренних напряжений, повышение вязкости и пластичности.

**Основной процесс**, происходящий при отпуске – **распад мартенсита**, т.е. выделение углерода из пересыщенного твердого раствора в виде карбида железа.

# Низкий отпуск стали



**Низкий отпуск** проводится при температуре 150-200 °С. Образуется структура **мартенсит отпуска**. Мартенсит отпуска отличается от мартенсита закалки наличием мелкодисперсных частиц карбидов и меньшей степенью тетрагональности кристаллической решетки.

В результате низкого отпуска **снимаются внутренние напряжения**, происходит некоторое **увеличение пластичности и вязкости без заметного снижения твердости** и износостойкости.

Низкому отпуску подвергают **режущий и мерительный инструмент**, а также **машиностроительные детали**, которые должны обладать высокой твердостью и износостойкостью.

# Средний отпуск стали

При **среднем отпуске** производится нагрев до 350-450 °С. Из мартенсита полностью выделяется углерод и образуется мелкоигольчатая смесь феррита и цементита. Такая структура стали полученная при среднем отпуске называется **тростит отпуска**.

При среднем отпуске происходит некоторое снижение твердости при значительном **увеличении предела упругости** и улучшении сопротивляемости действию ударных нагрузок.



Применяется для  
**пружин, рессор,  
ударного инструмента.**

# Высокий отпуск стали

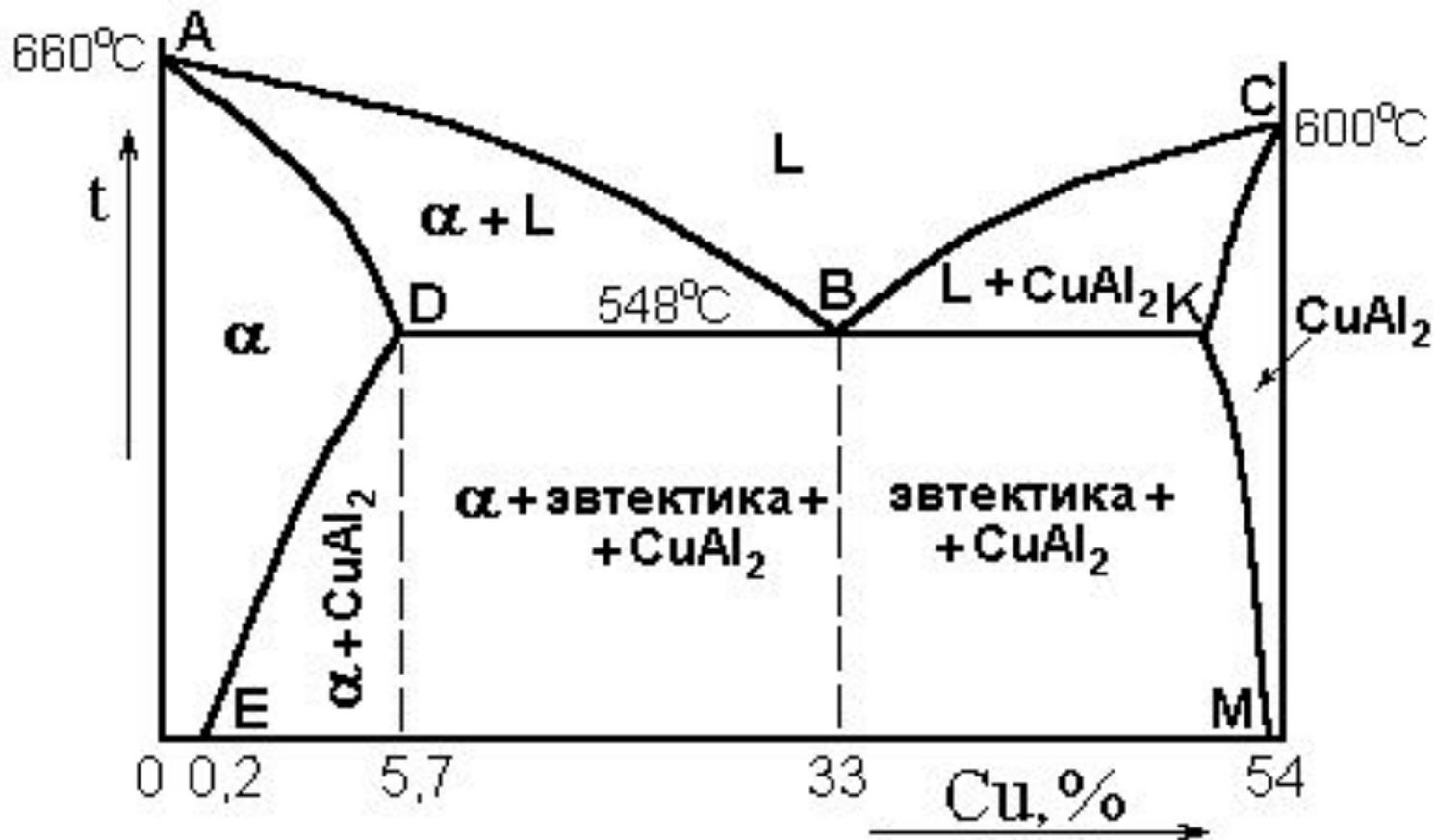
**Высокий отпуск** проводится при **550-650°C**. При нагреве до таких температур происходит коагуляция и сфероидизация частиц цементита в механической смеси феррита и цементита. Структура с округлыми зернами основных фаз называется **сорбит отпуска**.

В результате высокого отпуска твердость и прочность снижаются значительно, но сильно возрастают вязкость и пластичность и получается **оптимальное** для конструкционных сталей **сочетание механических свойств**.



Применяется **для деталей, подвергающихся действию высоких нагрузок**

# Термообработка дуралюмина

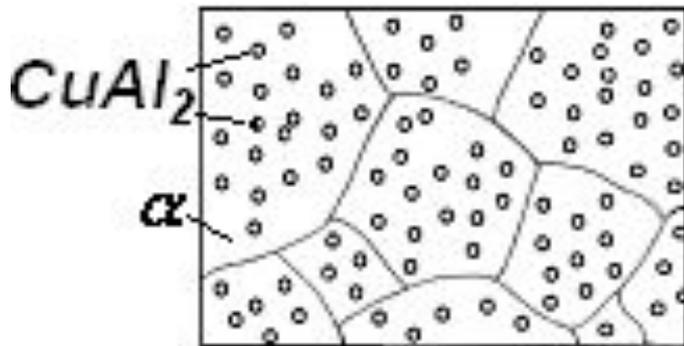


Дуралюмин – сплав алюминия с 4-5 % меди

# Термообработка дуралюмина

## Отжиг

**Отжиг** (разупрочняющая термообработка) дуралюмина заключается в нагреве сплава до 550 °С выдержке и охлаждении вместе с печью.



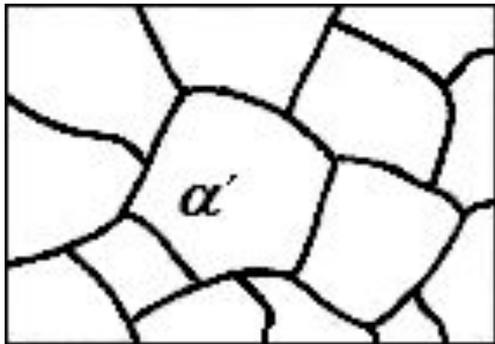
В отожженном – равновесном состоянии структура дуралюмина состоит из зерен твердого раствора меди в алюминии и частиц соединения  $\text{CuAl}_2$ . При этом частицы  $\text{CuAl}_2$  крупные.

Такая структура обеспечивает сплаву хорошую пластичность ( $\delta = 18-20\%$ ) при относительно невысоких значениях прочности и твердости (49 НВ).

# Термообработка дуралюмина

## Закалка

**Закалка** дуралюмина заключается в нагреве сплава до 550 °С, выдержке и быстром охлаждении в воду.



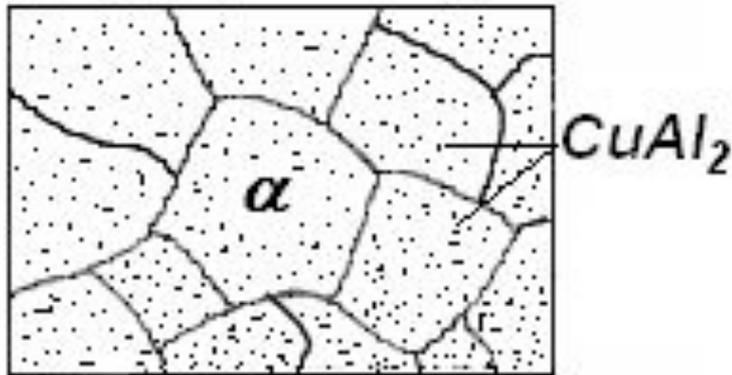
При нагреве в печи частицы  $\text{CuAl}_2$  растворяются в твердом растворе - структура станет однофазной. Затем при быстром охлаждении в воду – медь не успевает выделиться из твердого раствора и сохранится в нем после охлаждения. В результате сформируется пересыщенный твердый раствор замещения меди в алюминии –  $\alpha'$ .

После закалки значительного упрочнения дуралюмина не происходит – его твердость составляет 90 НВ, однако пластичность возрастает до  $\delta = 20-24\%$ , что позволяет пластически деформировать сплав в этом состоянии.

# Термообработка дуралюмина

## Старение

**Старение** дуралюмина заключается в длительной выдержке несколько суток при комнатной температуре (*естественное старение*) или короткой выдержке в несколько десятков минут при повышенной температуре 100-180 °С (*искусственное старение*).



При выдержке закаленного сплава, в пересыщенном  $\alpha'$  - твердом растворе происходит диффузионное перераспределение атомов меди с формированием мелкодисперсных (30 нм) частиц  $\text{CuAl}_2$ .

Формирование в структуре сплава дисперсных частиц  $\text{CuAl}_2$  включает механизм дисперсионного упрочнения и приводит к значительному повышению значений прочности и твердости (120 НВ), при незначительном снижении пластичности ( $\delta = 10-18\%$ ).