

# Лекция 2

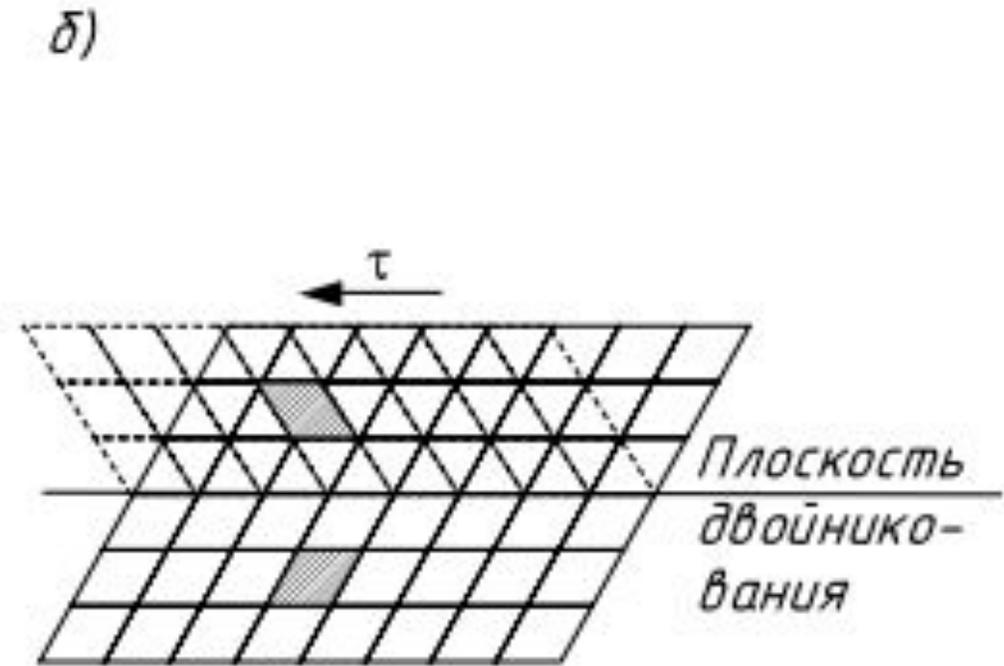
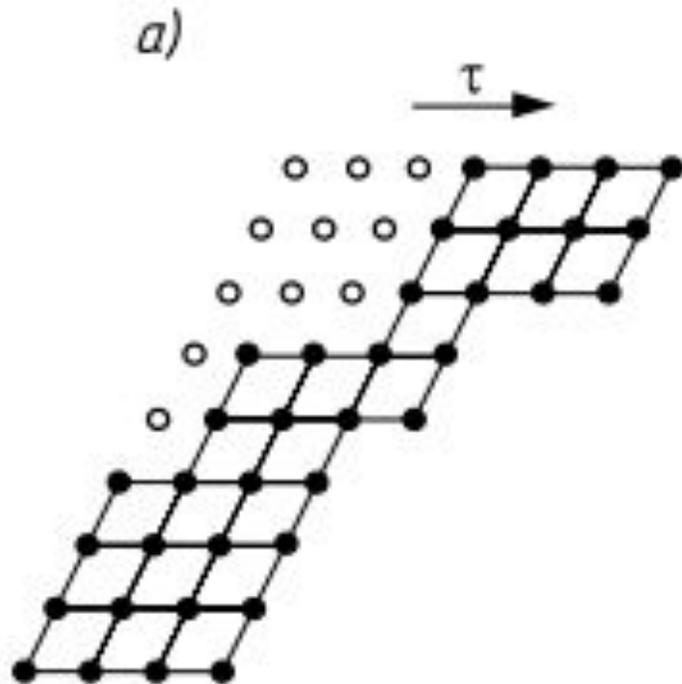
# План лекции

- Деформация и механические свойства материалов
  - Нагрузки, напряжения и деформации
  - Влияние пластической деформации на свойства металлов
  - Механические свойства
  - Понятие о конструктивной прочности материалов
- Диаграмма состояния железо — углерод (цементит)
- Термическая и химико-термическая обработка
- Чугуны
  
- Литература
- Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов/ Под ред. Ю. М. Барона. — СПб.: Питер, 2012. — 512 с.:

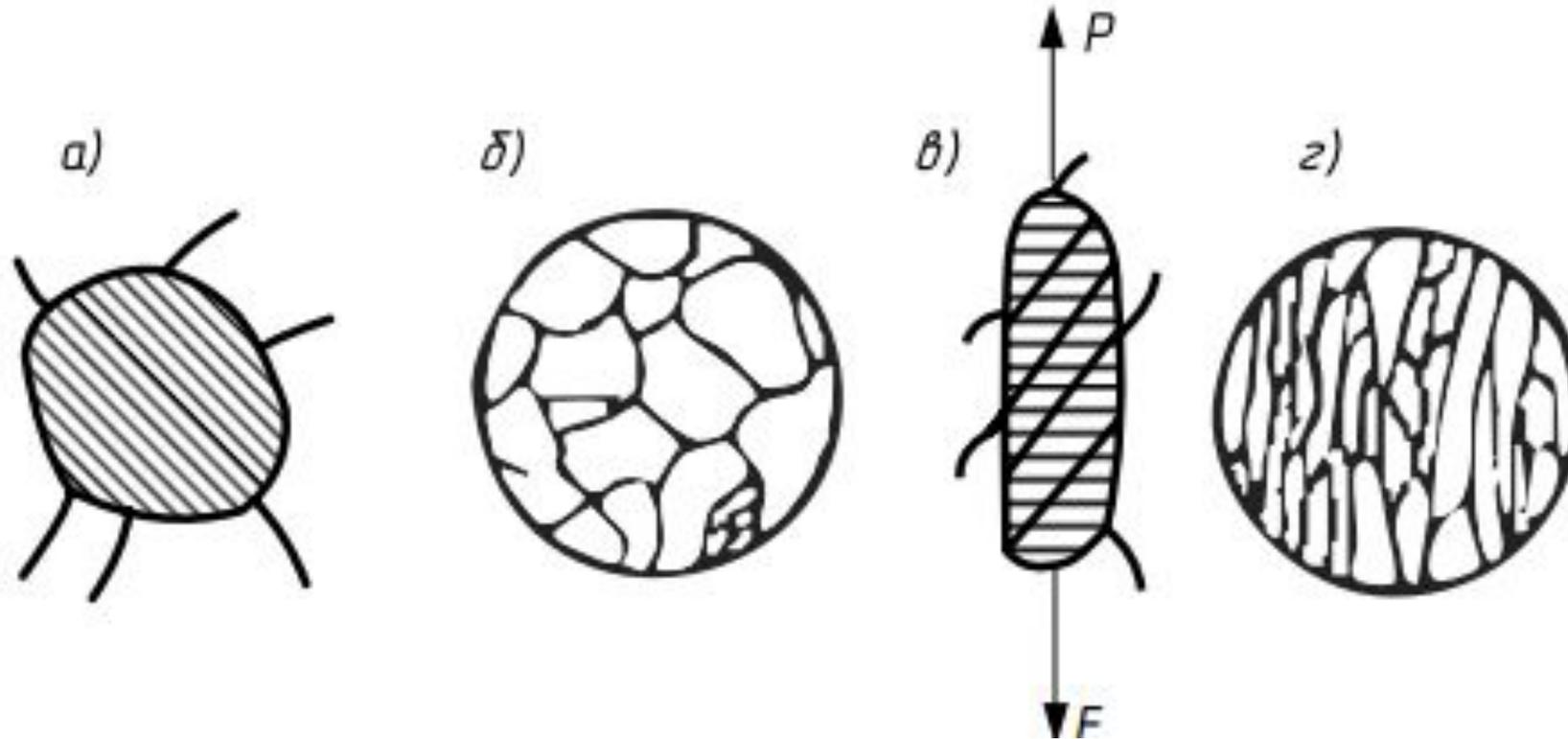
# Деформация и механические свойства материалов

- Нагрузки, напряжения и деформации
  - на площадке материала различают нормальные ( $\sigma$ ) и касательные напряжения
- Деформацией называют изменение размеров или формы тела под действием внешних сил либо под влиянием физико-механических процессов, протекающих в самом теле (нагрев, фазовые превращения и т. д.)
  - При упругой деформации смещения атомов пропорциональны деформирующим силам.
  - Деформацию называют пластической (остаточной), если при прекращении действия внешних сил твёрдое тело не восстанавливает свои исходную форму и размеры.

Пластическая деформация твёрдых тел сопровождается явлениями скольжения (а) и двойникования (б)



# Влияние пластической деформации на свойства металлов



- Влияние пластической деформации на структуру металла: а — отдельное зерно; б — металл до деформации; в — блоки зерен после деформации; г — волокнистая структура после деформации

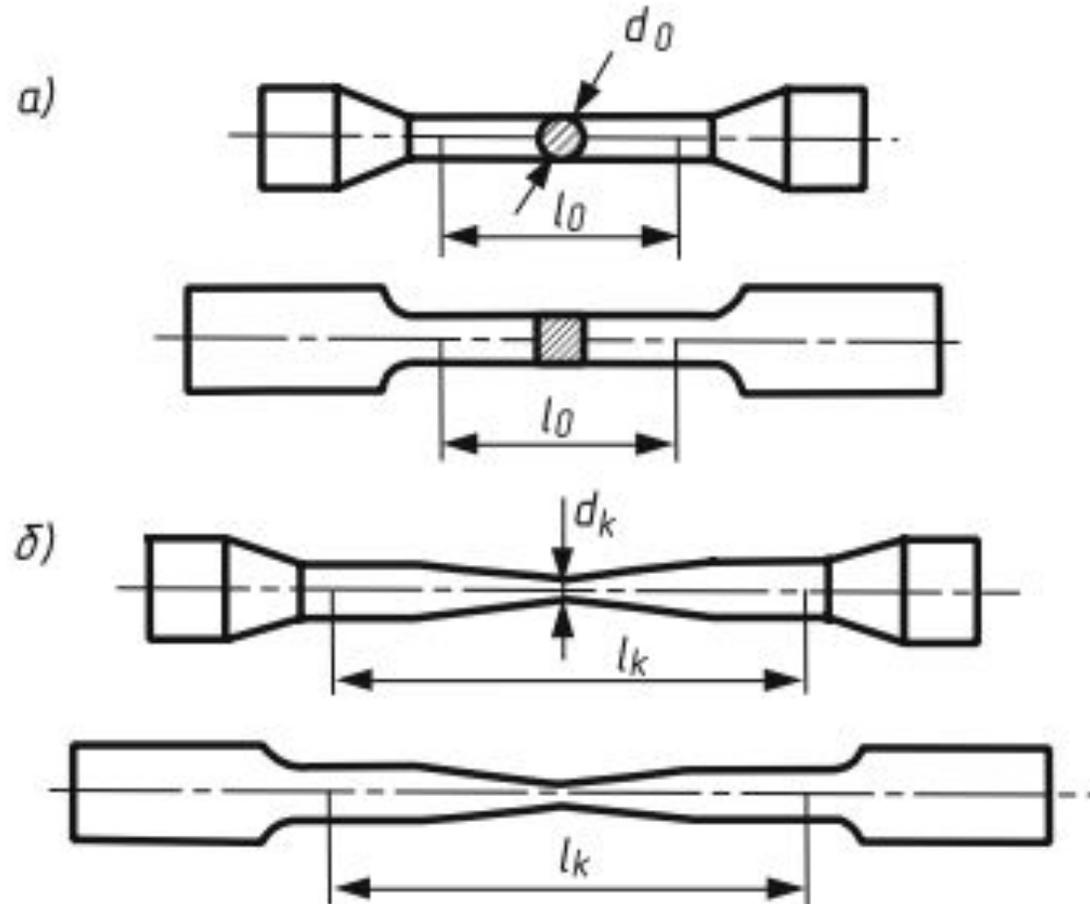
Если температура нагрева достигает значения  $0,2-0,3$  абсолютной температуры плавления по шкале Кельвина, то протекает так называемый процесс возврата, при котором улучшаются структурное состояние и пластичность металла, а также уменьшается плотность дислокаций.

При нагреве до  $0,4 T_{пл}K$  ( $T_{пл}$  — температуры плавления по Кельвину) в металле происходит рекристаллизация, при которой почти полностью исчезает эффект деформационного состояния

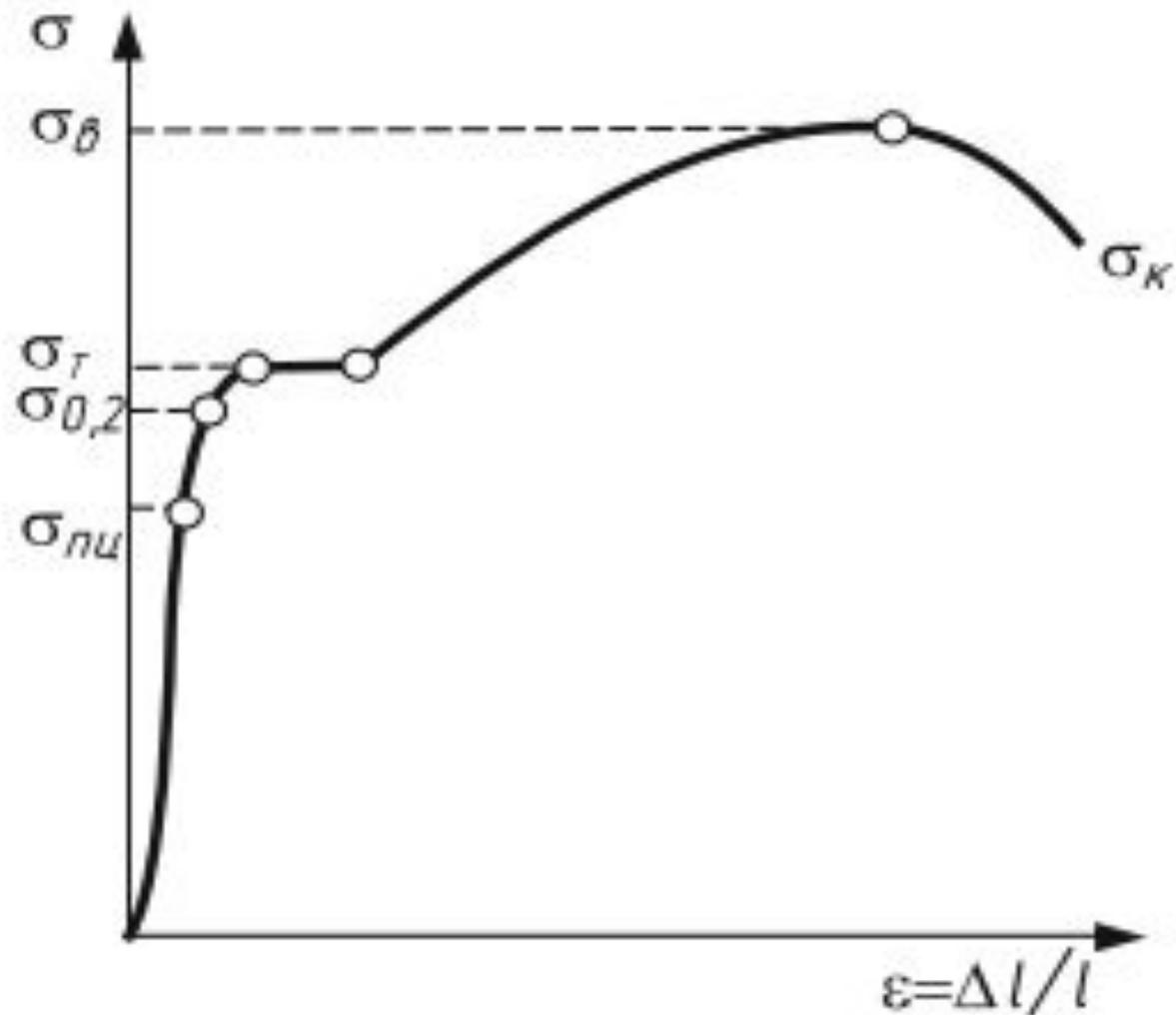
- Сверхпластичность — это способность металлов и сплавов к значительной равномерной деформации, при которой относительное удлинение достигает сотен и тысяч процентов. Это явление впервые было обнаружено Л. А. Бочваром и З. А. Свидерской на сплавах, содержащих 22 % цинка. Для того чтобы сплавы приобрели сверхпластичность, необходимо получить ультрамелкозернистую структуру. Такое структурное состояние достигается путём специальной термической обработки.

# Механические свойства

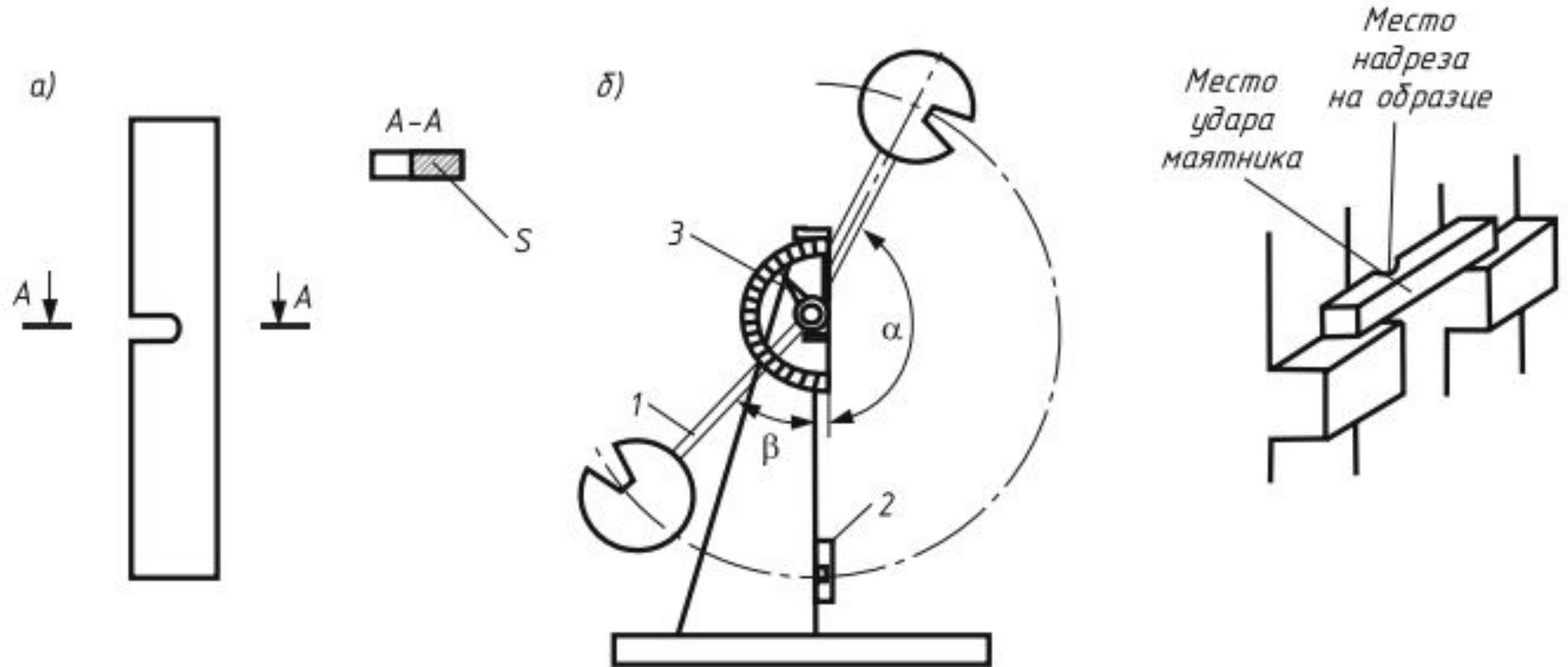
- Прочностные и пластические характеристики.
- Образцы для испытаний на растяжение: а — до испытания; б — после испытания



# Диаграмма растяжения образца из пластичного материала



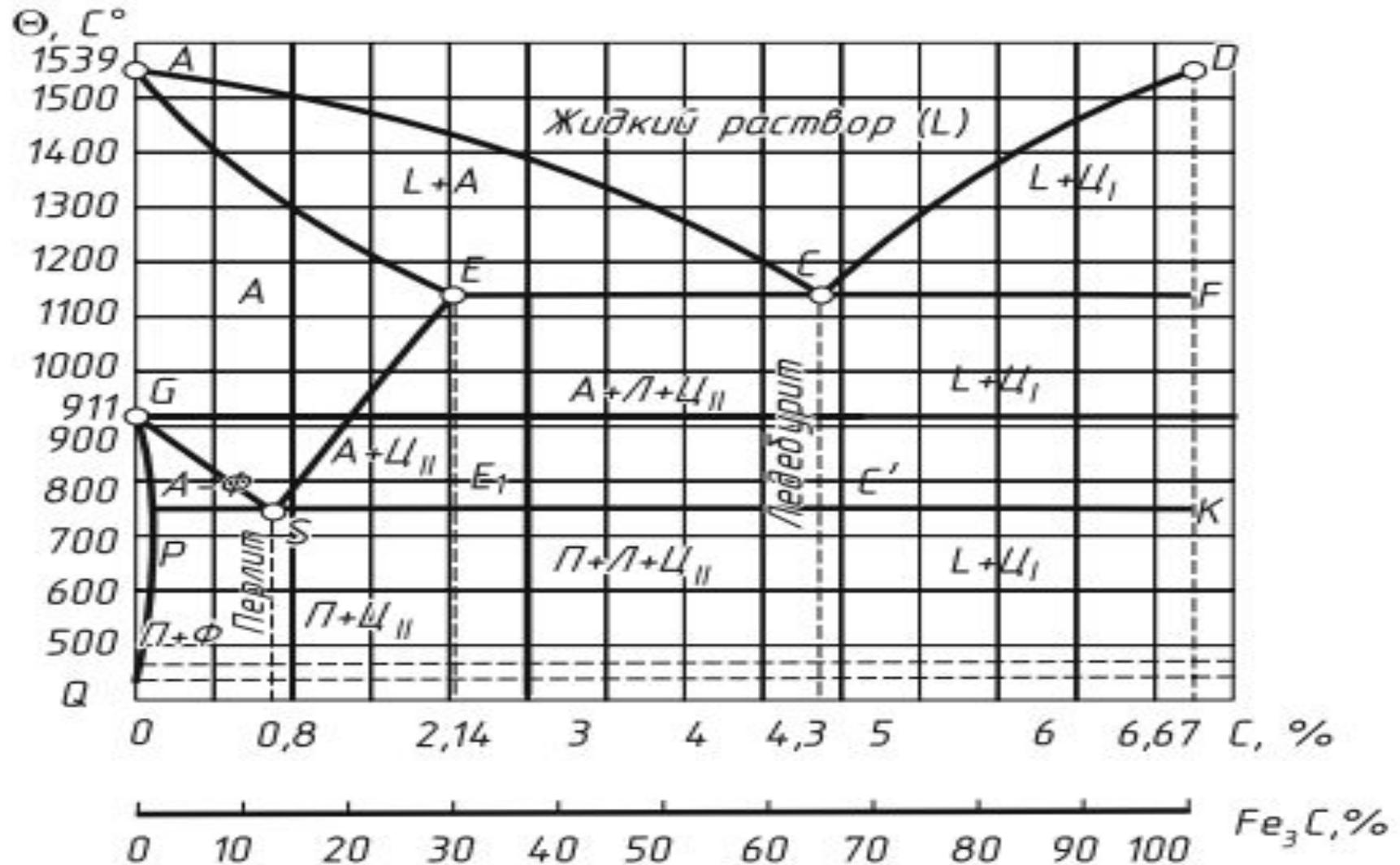
- Ударная вязкость характеризует способность материала сопротивляться разрушению при ударных нагрузках.



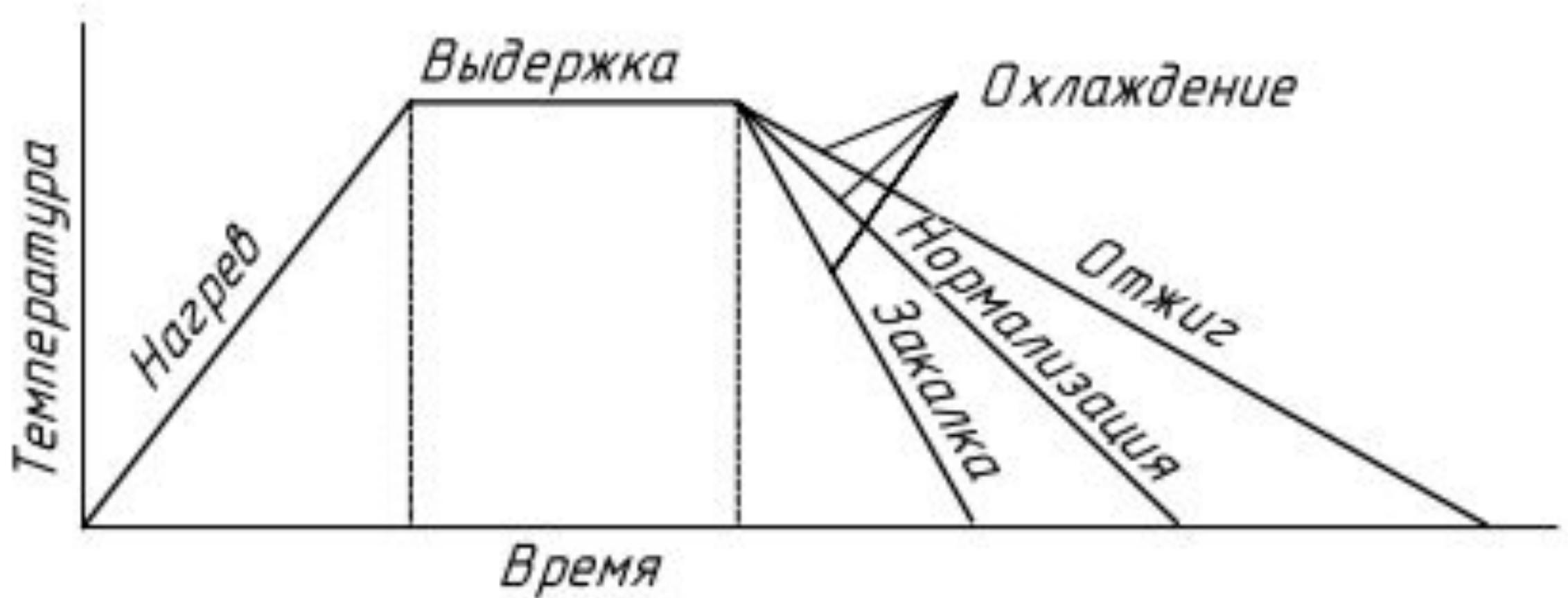
- Выносливость.
- Усталость – явление при действии циклических нагрузок возникающие повреждения в структуре металла постепенно накапливаются, что приводит к образованию трещин, их росту и затем к разрушению детали.
- Выносливость - способность металлов противостоять усталости
- Для оценки предела выносливости установлены базы испытаний: для стали — не менее 10 000 000 циклов, для цветных сплавов —не менее 100 000 000 циклов.

- Хрупкое и вязкое разрушение
- Разрушение металлов под действием растяги-вающих напряжений, происходящее практически без пластической деформации, называется хрупким.
- Разрушение под действием касательных напряжений с предшествующей пластической деформацией называют вязким.
- Жаропрочность

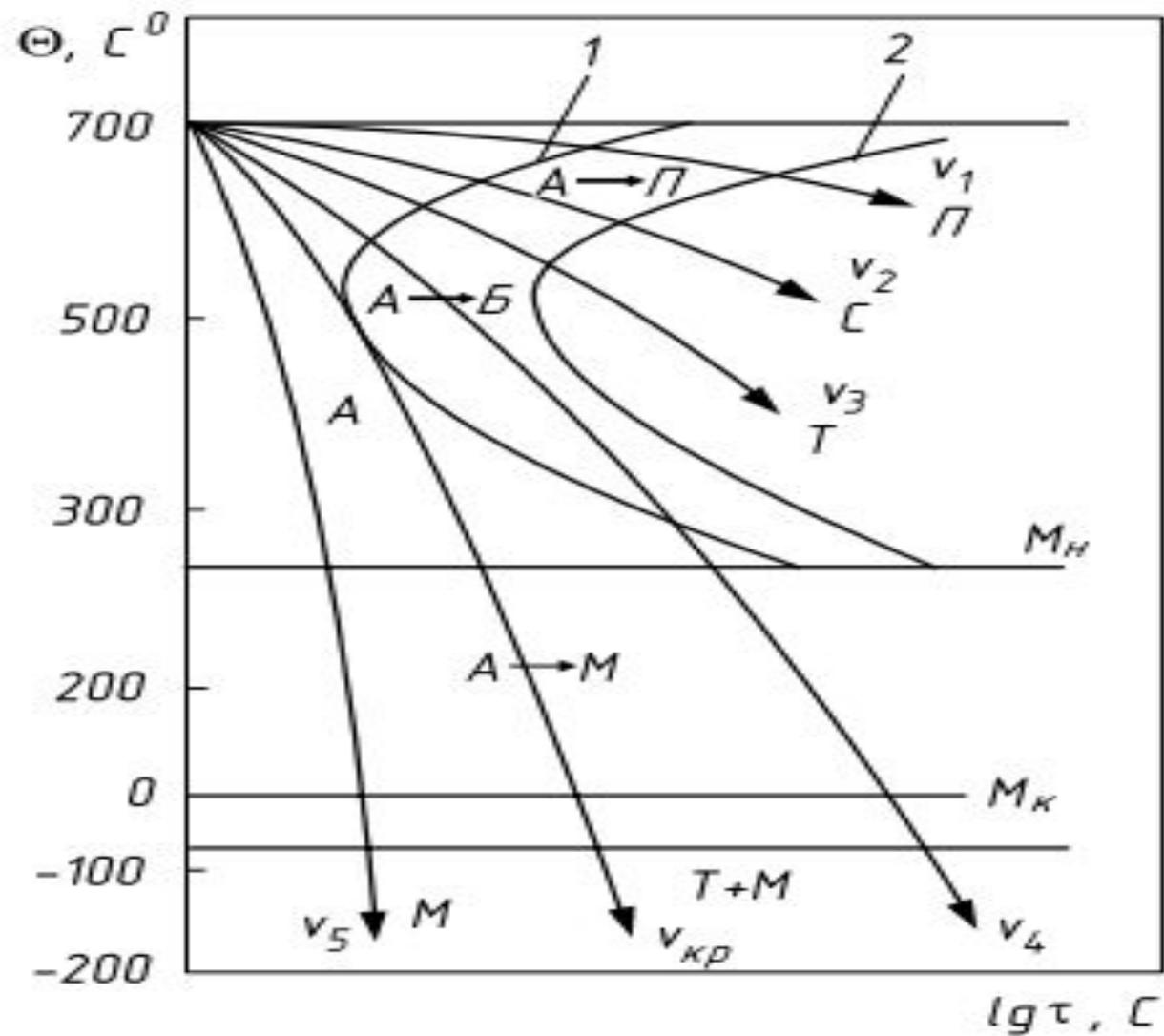
# Диаграмма состояния железо — углерод (цементит)



# Термическая и химико-термическая обработка



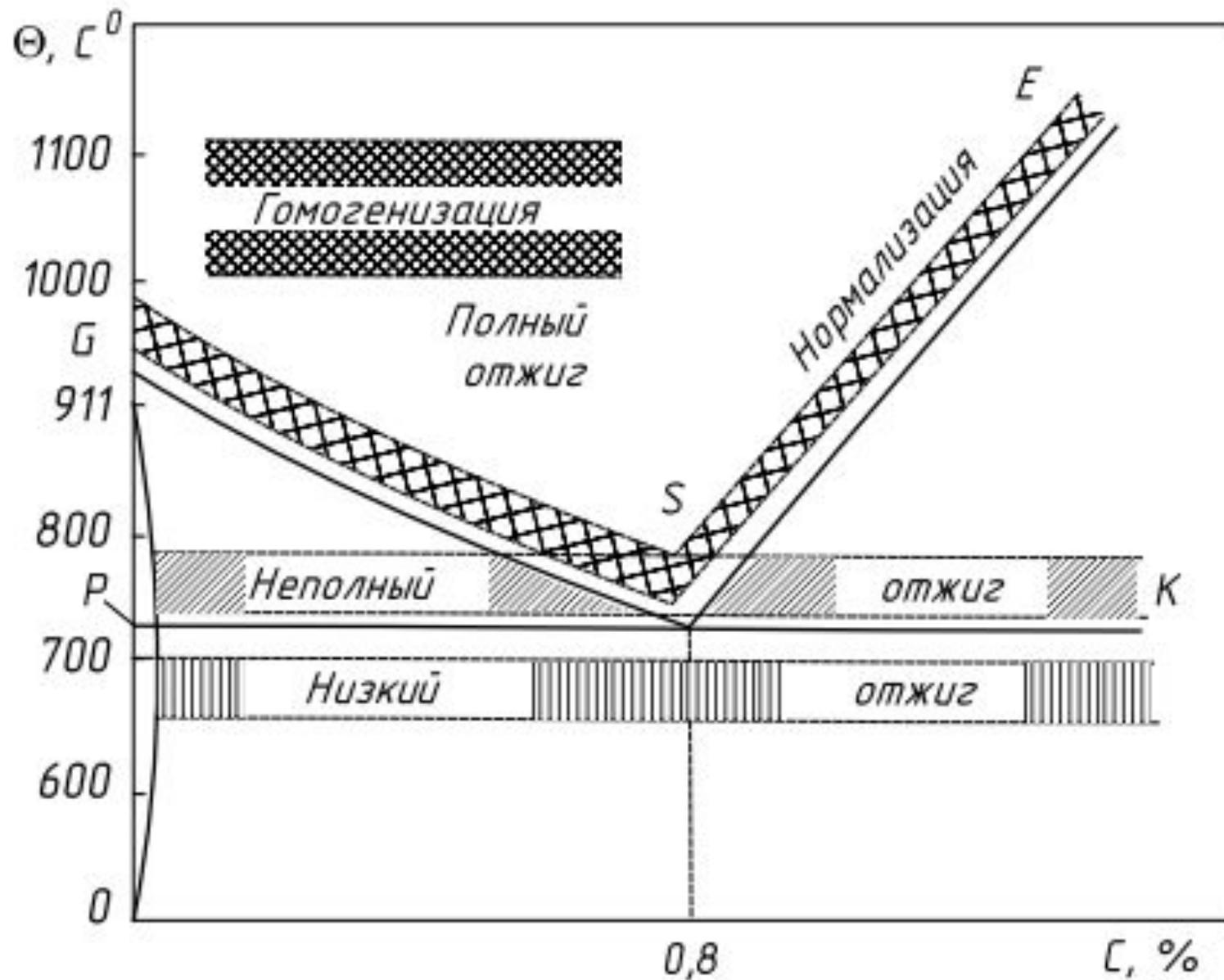
# Диаграмма изотермического превращения аустенита



- Мартенсит представляет собой пересыщенный твёрдый раствор углерода в  $\alpha$ -железе
- Малая скорость охлаждения  $v_1$  приводит к образованию грубой смеси феррита и цементита – перлита с твёрдостью HRCэ 10.
- Сорбит(первая закалочная структура), образующийся при скорости охлаждения стали  $v_2$ , представляет собой смесь феррита и цементита, отличающуюся от перлита ещё более дисперсным строением. Твёрдость сорбита — HRCэ 20. Стали с сорбитной структурой характеризуются более высокой износостойкостью и используются для изготовления высоконагруженных деталей.

- Троостит (вторая закалочная структура) получается при скорости охлаждения  $v_3$  в результате распада переохлажденного аустенита при 500–550 °С и обладает значительной упругостью. Он представляет собой мелкодисперсную смесь феррита и цементита. Твёрдость троостита составляет HRCэ 30. Сталь со структурой троостита отличается высокими значениями прочности и упругости. Её используют, главным образом, для изготовления пружин и рессор.
- При скорости охлаждения  $v_4$  образующаяся структура стали состоит из троостита и

# Отжиг и нормализация стали

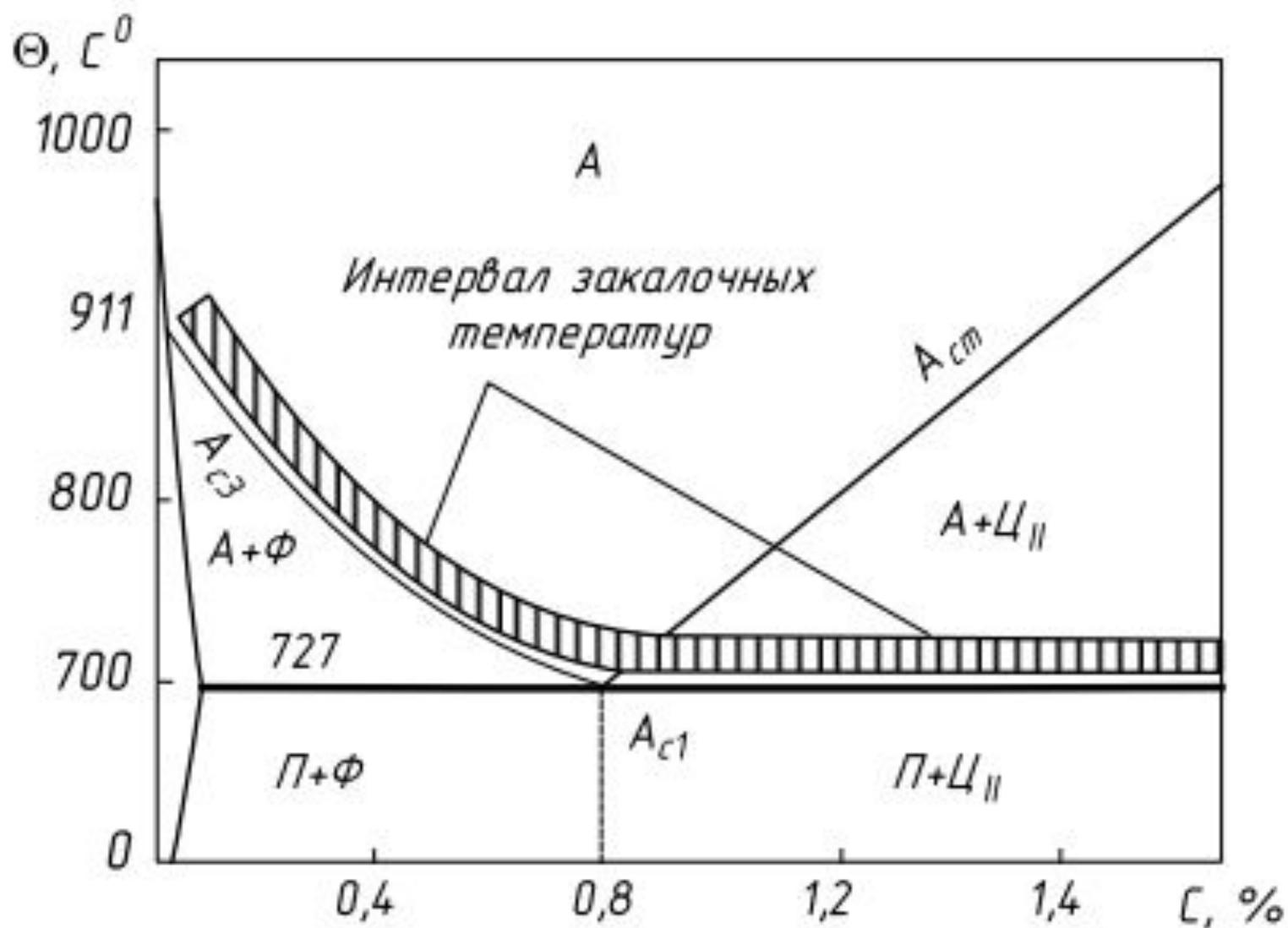


- Отжиг заключается в нагреве стали выше критических температур (точек  $A_{c1}$  или  $A_{c3}$ ), выдержке при данной температуре и последующем медленном охлаждении (обычно вместе с печью)
- Цель отжига — устранить внутренние напряжения, измельчить зерно, придать стали пластичность перед последующей обработкой и привести структуру в равновесное состояние.

- Нормализация заключается в нагреве стали выше линии GSE (точки Ac3) на 30–50 °С, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении на воздухе
- После нормализации углеродистые стали имеют ту же структуру, что и после отжига, но перлит имеет более высокую дисперсность (тоньше пластинки феррито-цементитной смеси).
- Нормализацию применяют для устранения крупнозернистой структуры и выравнивания механических свойств.

- В заэвтектоидных сталях нормализация устраняет цементитную сетку.
- Нормализация — более дешёвый и простой вид термической обработки, чем отжиг.
- Конструкционные стали поставляют в отожжённом или нормализованном состоянии, инструментальные стали — после сфероидизации.

# Закалка и отпуск стали



- Закалка. Целью закалки является получение высокой твёрдости и заданных физико-механических свойств. Различают полную и неполную закалку.
- Способность стали закаливаться возрастает с увеличением в ней содержания углерода.
- При содержании углерода менее 0,2 % сталь практически не закаливается.

- При закалке в качестве охлаждающей среды чаще всего используют воду, иногда с добавками солей, щелочей.
- Для уменьшения охлаждающей способности среды применяют масла, расплавленные соли и металлы.

- Отпуск стали. Отпуском называют нагрев стали до температуры ниже точки  $A_{c1}$ (линии PSE) с выдержкой при данной температуре и последующим охлаждением с заданной скоростью (обычно охлаждают на воздухе). Цель отпуска — уменьшение закалочных напряжений, снижение твёрдости и получение необходимых механических свойств. Основное превращение при отпуске — распад мартенсита, то есть выделение углерода из пересыщенного твёрдого раствора в виде мельчайших кристалликов карбида железа

- В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска: низкий, средний и высокий.
- Низкий отпуск (отпуск на отпускаемый мартенсит) производят при нагреве до температур 120–150 °С. Его обычно применяют после закалки режущих и штамповых инструментов, цементованных и цианированных заготовок, а также после поверхностной закалки. При низком отпуске уменьшаются остаточные закалочные напряжения, твердость практически не снижается.

- Средний отпуск (отпуск на троостит) происходит при нагреве до 350–450 °С. При этом снижается твёрдость. Средний отпуск рекомендуется для пружин и рессор.
- Высокий отпуск (отпуск на сорбит) производят при нагреве до 500–650 °С. Этот отпуск применяют для заготовок из конструкционной стали с целью обеспечения повышенной прочности, вязкости и пластичности. Сочетание закалки с высоким отпуском на сорбит называют улучшением.

- Для повышения твёрдости, предела выносливости и износостойкости деталей их подвергают поверхностному упрочнению. Обычно для этих целей применяют поверхностную закалку — газопламенную закалку, закалку с индукционным нагревом токами высокой частоты и другие виды поверхностного упрочнения. После такого упрочнения сердцевина изделия остается вязкой и воспринимает ударные нагрузки.

- Закаливаемость — это способность стали приобретать высокую твёрдость после закалки. Закаливаемость зависит от содержания углерода в стали: чем больше углерода, тем выше получаемая твёрдость при прочих равных условиях.
- Прокаливаемость — это способность стали закаливаться на определённую глубину. Прокаливаемость зависит от химического состава стали, размеров заготовки и условий охлаждения.
- для углеродистых сталей при закалке в воде максимальный диаметр составляет 10–20 мм. Легированные стали при закалке в масле в зависимости от степени легирования могут прокаливаться в сечении до 250–300 мм.

