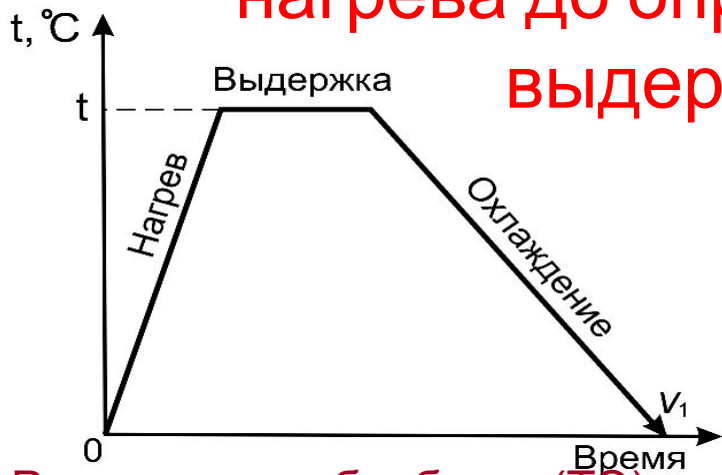


Термическая обработка стали

Термической обработкой называется совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, проводимых с целью изменения структуры и свойств стали. Основные виды термической обработки – это отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение и химико-термическая обработка поверхности.



Любая термическая обработка состоит из нагрева до определенной температуры, выдержки и охлаждения



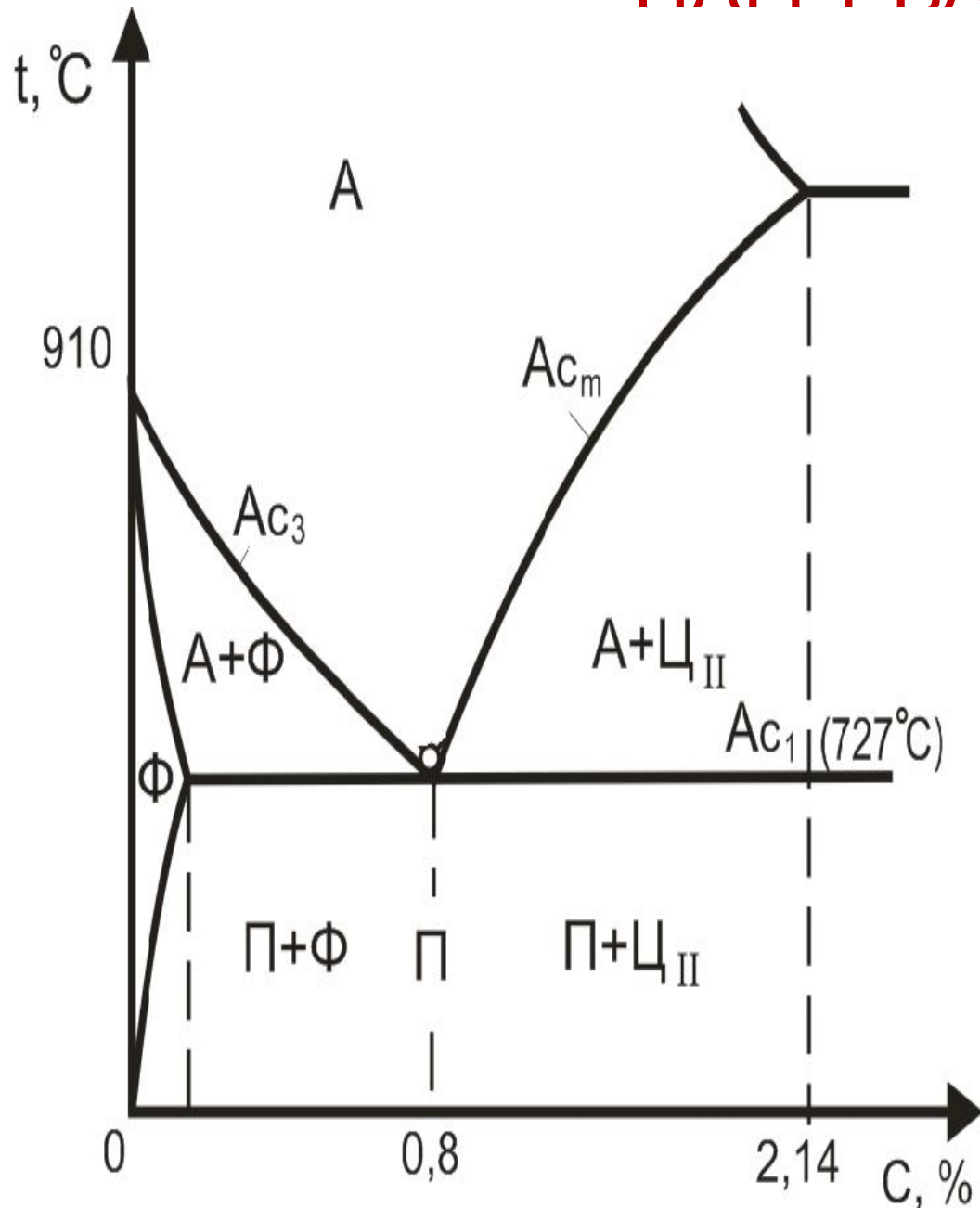
Режим термообработки (ТО) представляется графиком в координатах температура – время. Он характеризуется параметрами:

- температура нагрева;
- время выдержки при этой температуре;
- скорость нагрева;
- скорость охлаждения.

Параметры термической обработки зависят от химического состава стали и конфигурации изделия.

Термическая обработка – процесс тепловой обработки металлов и сплавов, заключающийся в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении с заданной скоростью. Применяется для получения материала с заданными свойствами путем изменения его фазового состава и перераспределения компонентов, размеров и формы кристаллических зерен, вида дефектов, их количества и распределения. К термической обработке относятся *отжиг, закалка, отпуск, нормализация, старение*.

ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛЯХ ПРИ НАГРЕВАНИИ



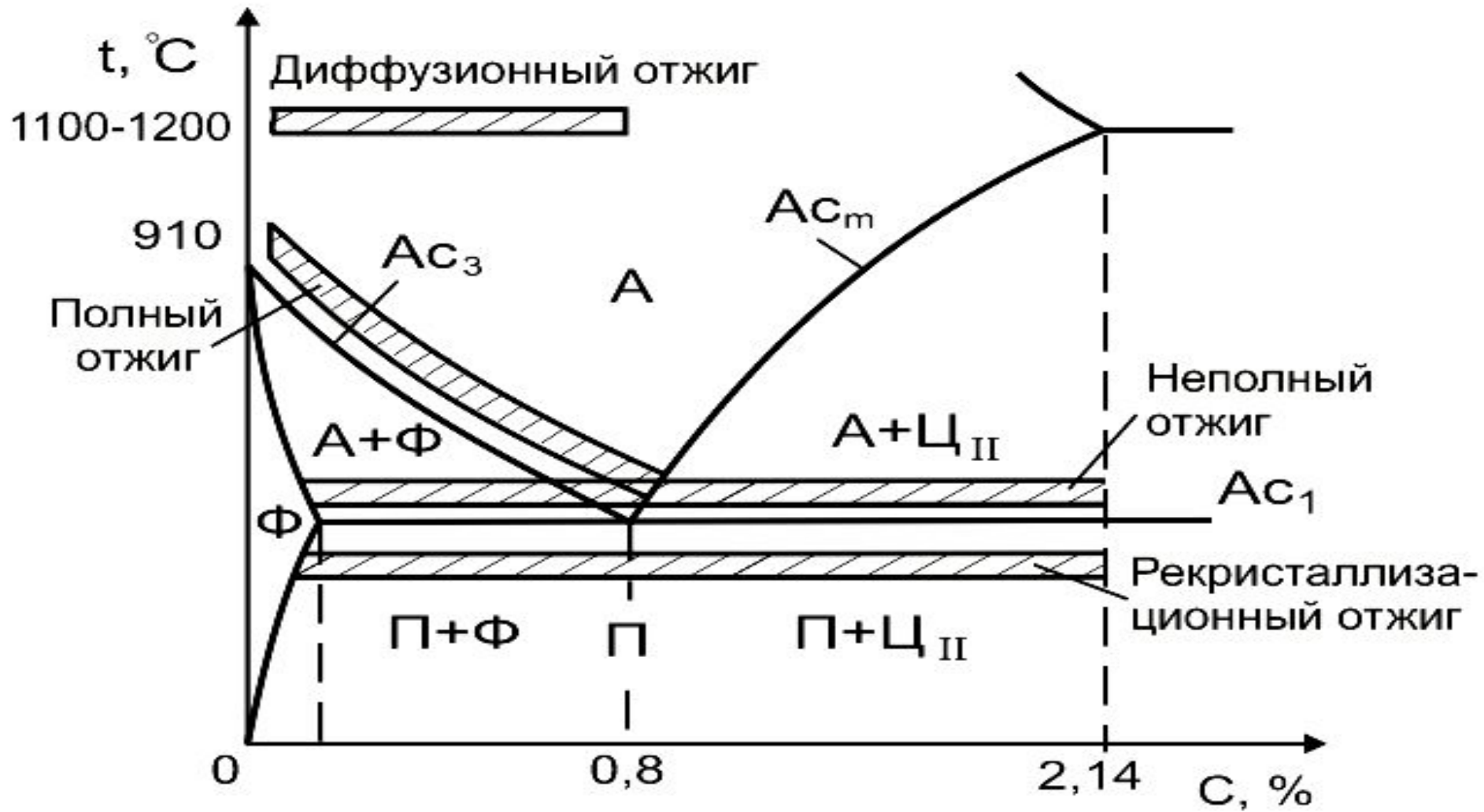
Ac_1 – критическая точка перлитного превращения. 727°C (линия PSK). При этой температуре происходит перекристаллизация перлита в аустенит ($\text{П} \rightarrow \text{А}$).

Ac_3 – критическая точка полной перекристаллизации в аустенит доэвтектоидной стали. ($\text{Ф} + \text{А}$) \rightarrow А . Температура ее определяется по линии GS в зависимости от содержания углерода в стали.

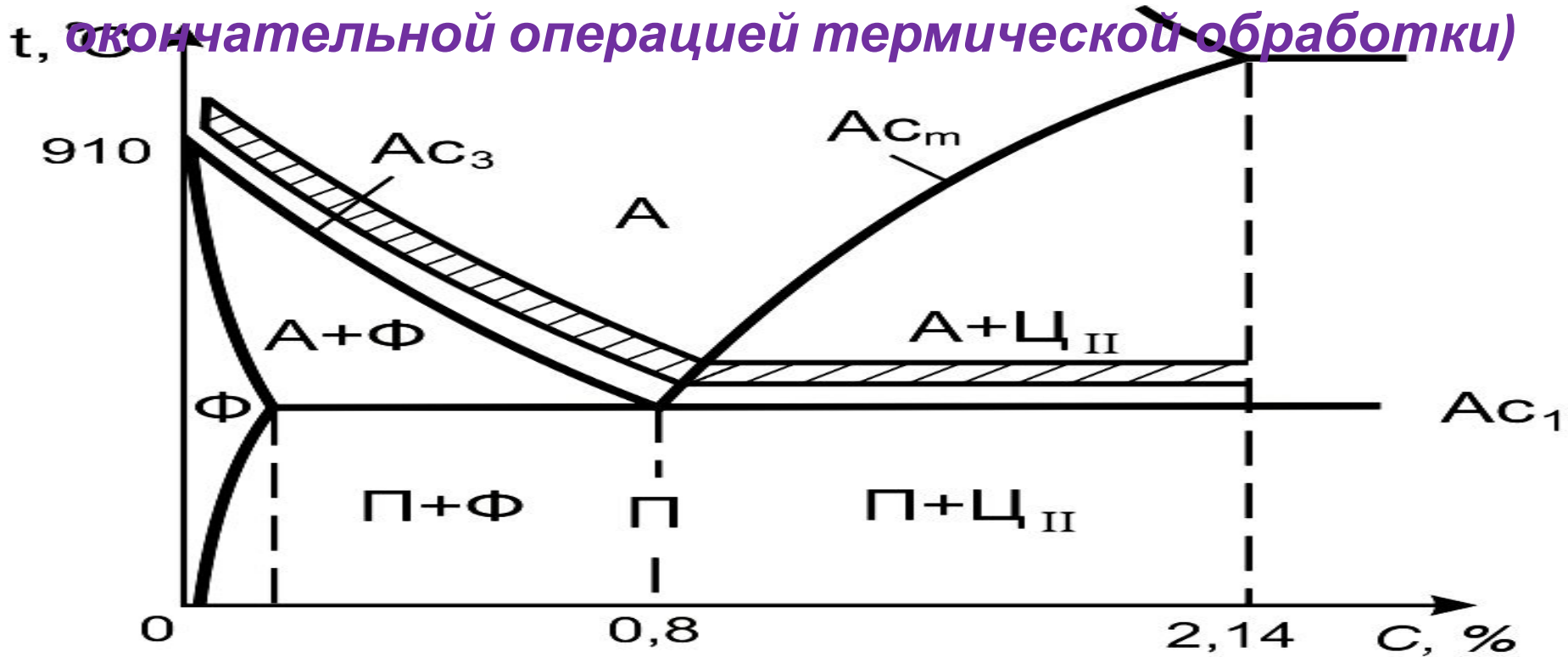
Ac_m – критическая точка полной перекристаллизации в аустенит заэвтектоидной стали. ($\text{А} + \text{Ц}$) \rightarrow А . Температура ее определяется по линии SE в зависимости от содержания углерода в стали.

ОТЖИГ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Операция термической обработки, связанная с нагревом до температуры отжига, выдержкой и последующем **медленном охлаждении** (вместе с

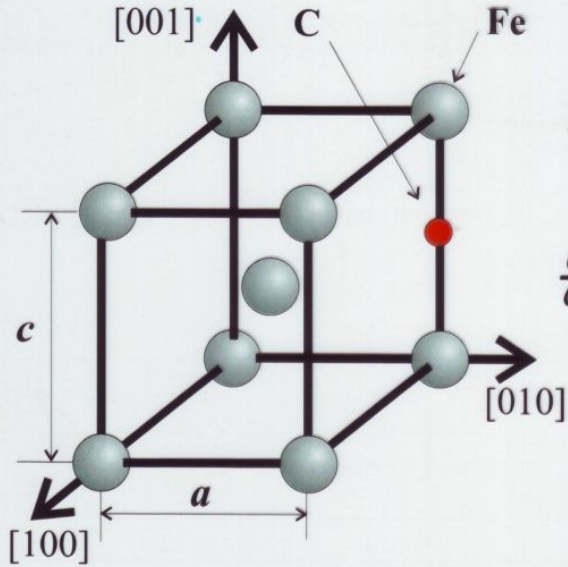


ЗАКАЛКА - операция ТО, заключается в нагреве стали до температуры выше полиморфных превращений (доэвтектоидных сталей на 30 - 50°С выше A_{c3} (полная), заэвтектоидных на 30 - 50°С выше A_{c1}), (неполная) выдержке и последующем охлаждении со скоростью выше критической, с целью получения мартенситной структуры, обеспечивающей максимальную твердость, прочность и износостойчивость (не является окончательной операцией термической обработки)



МАРТЕНСИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ

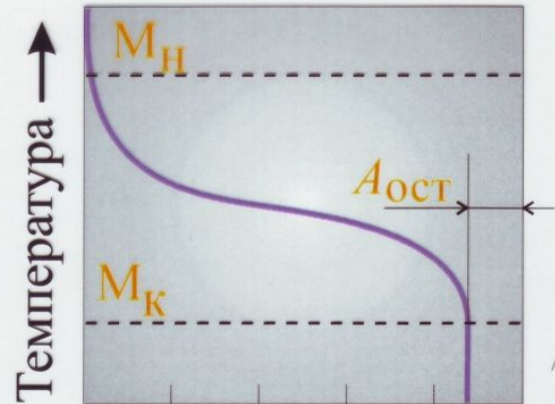
Мартенсит - пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α - железе



$\frac{c}{a}$ - степень тетрагональности
решетки мартенсита

$$\frac{c}{a} = 1 + 0,046 \cdot C (\%)$$

Кривая мартенситного
превращения

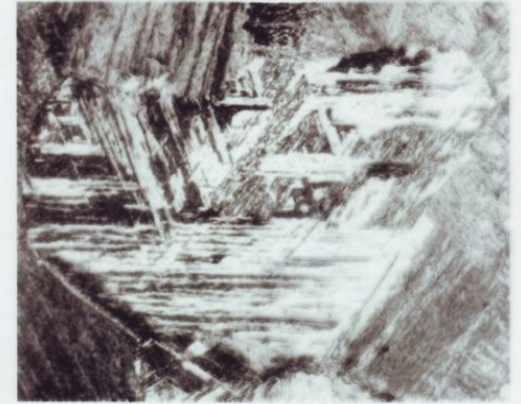


M_H и M_K - температуры
начала и конца мартенсит-
ного превращения

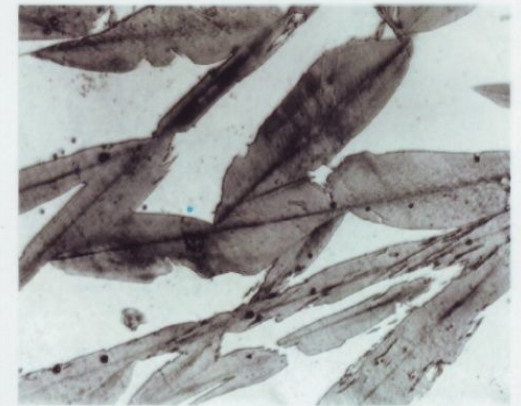
$A_{ост}$ - остаточный аустенит

Количество мартенсита, %

Структура мартенсита



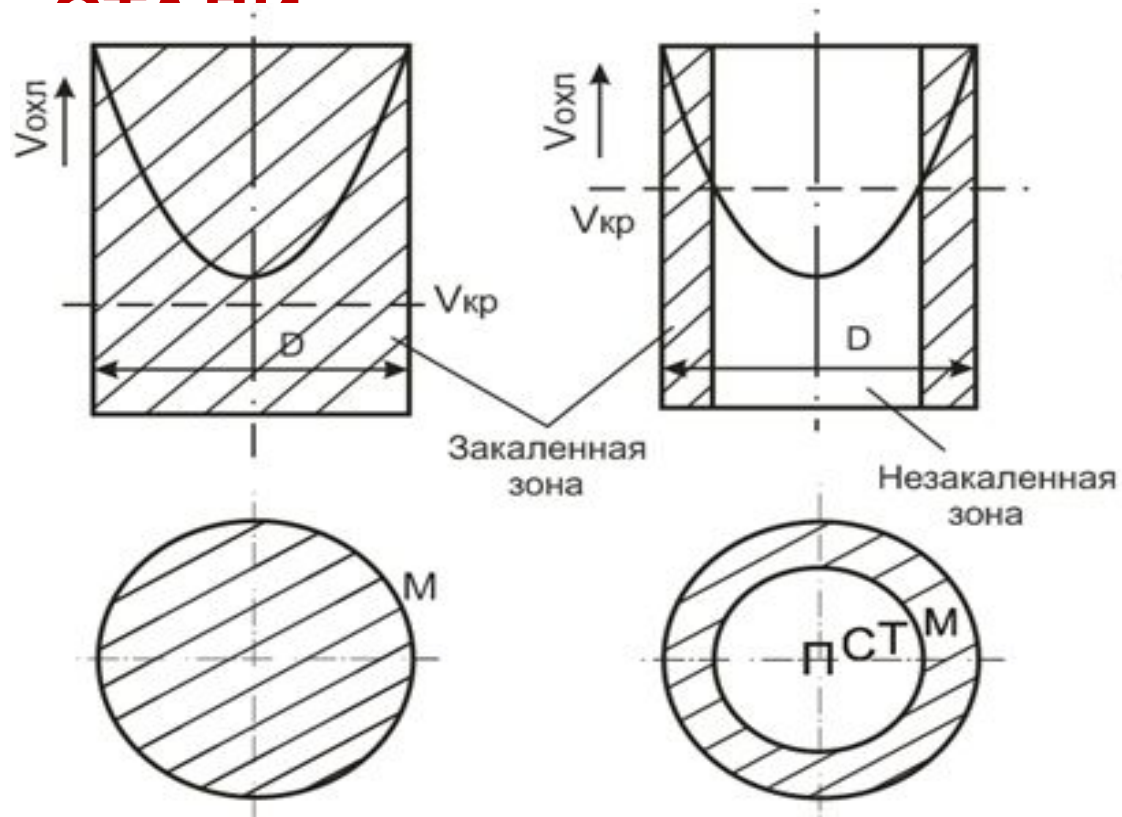
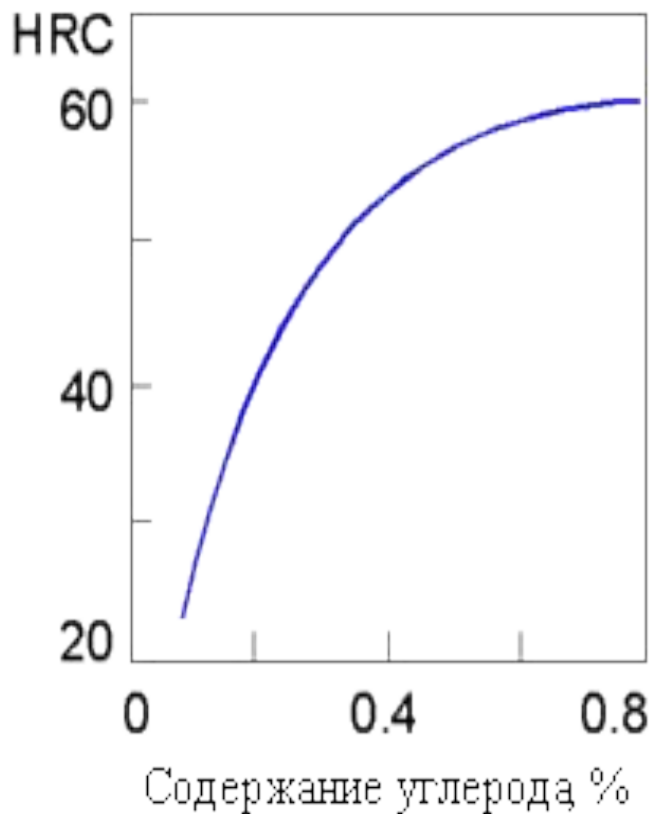
Пакетный (реечный) мартенсит



Пластинчатый (двойникованный)
мартенсит

ЗАКАЛИВАЕМОСТЬ И ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ

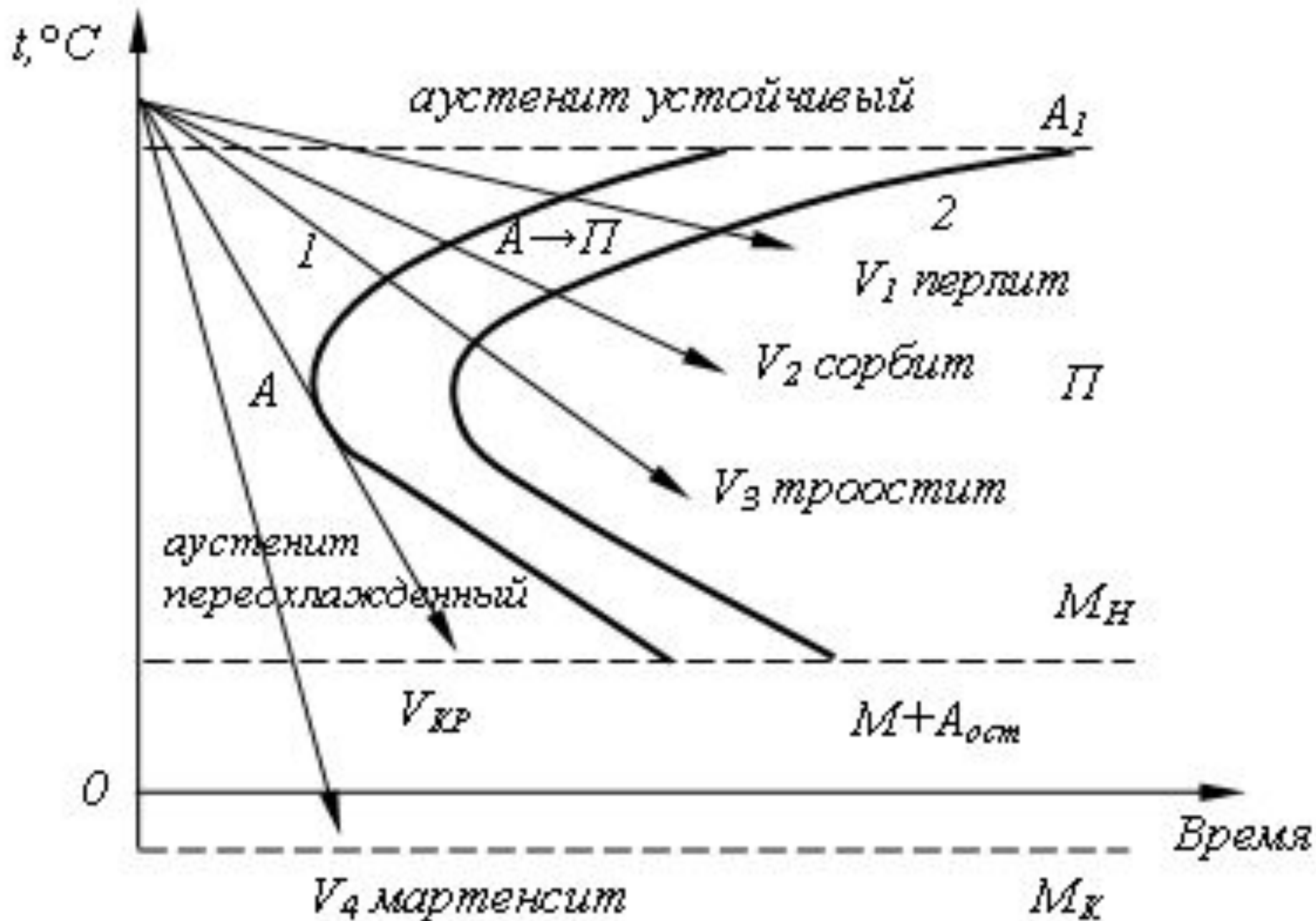
СТАЛИ



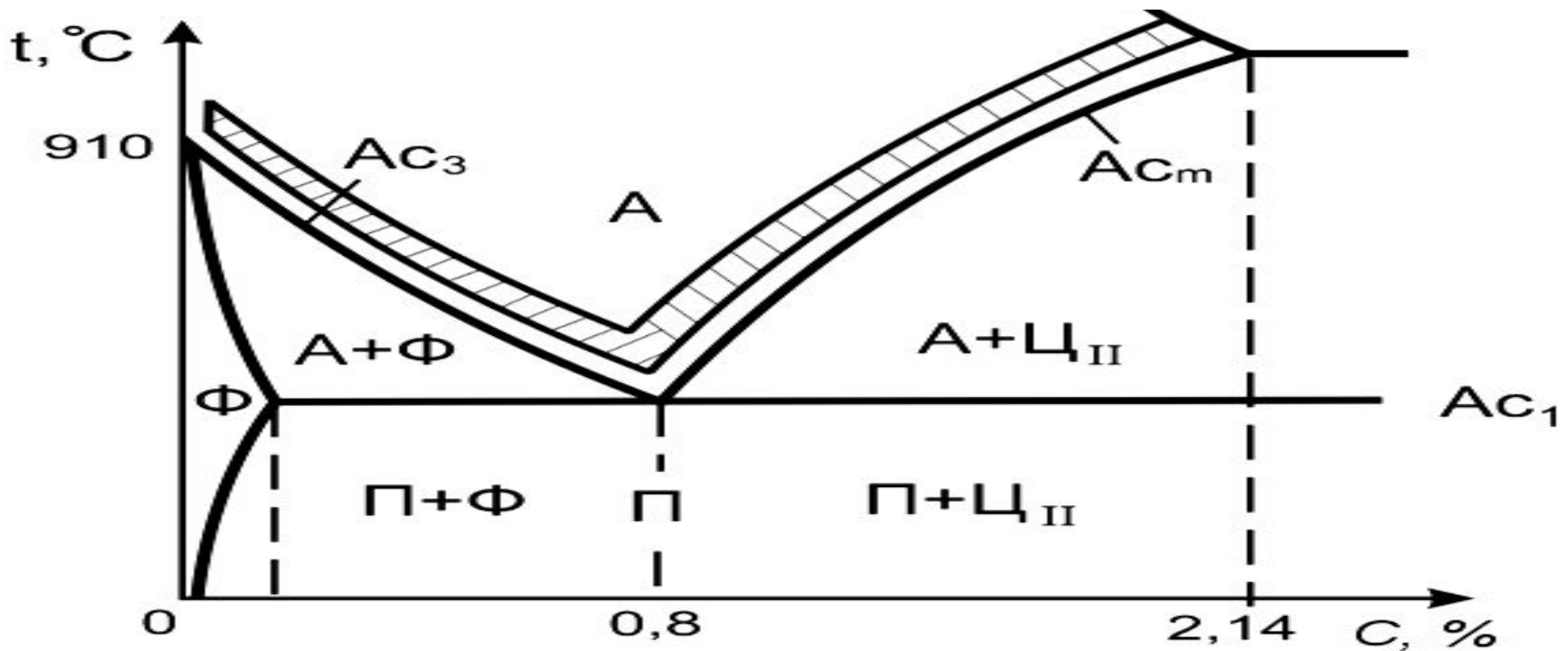
Закаливаемость – это способность стали повышать твердость в результате закалки (чем больше в мартенсите углерода, тем выше его твердость).

Прокаливаемость – это способность стали получать закаленный слой на определенную глубину. Под закаленным слоем понимают слой со структурой мартенсита, обладающий высокой твердостью.

ПРЕВРАЩЕНИЯ АУСТЕНИТА ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ



ПОСЛЕМАРТИТОВАЯ (нормализационный отжиг) — операция ТО, связанная с нагревом стали до аустенитного состояния, выдержки при температуре нагрева и последующего **охлаждения на воздухе** (получаются следующие структуры: **сорбит+феррит в доэвтектоидных сталях (С+Ф); сорбит в эвтектоидных сталях (С); сорбит+вторичный цементит в заэвтектоидных сталях (С+Ц_{II})**)



Температурный интервал нагрева стали под

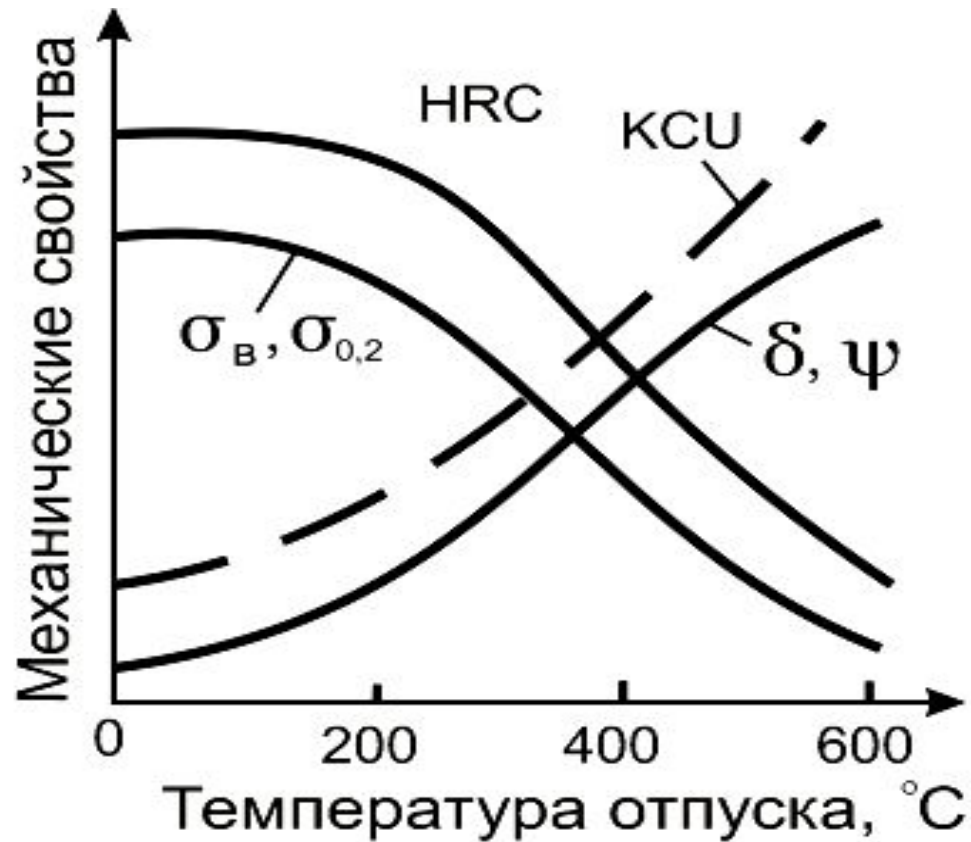
стали до температуры **ниже A_{c1}** , выдержке и последующем охлаждении с произвольной скоростью. Он является окончательной операцией термической обработки, т.к. **обеспечивает требуемые механические свойства стали и полностью или частично устраняет внутренние напряжения (температурные и структурные), возникающие при закалке.**

ВИДЫ ОТПУСКА: 1) **Низкий отпуск.** Нагрев – 150 – 200°C, выдержка – 1 – 1,5 часа. Снижаются внутренние напряжения. Мартенсит закалки переходит в мартенсит отпуска. Твердость (60 – 64 HRC).

2) **Средний отпуск.** Нагрев – 350 – 500°C, выдержка – 1 – 8 ч. мартенсит закалки переходит в троостит отпуска – 40 – 45 HRC. Обеспечивается наилучшее сочетание предела упругости с пределом выносливости.

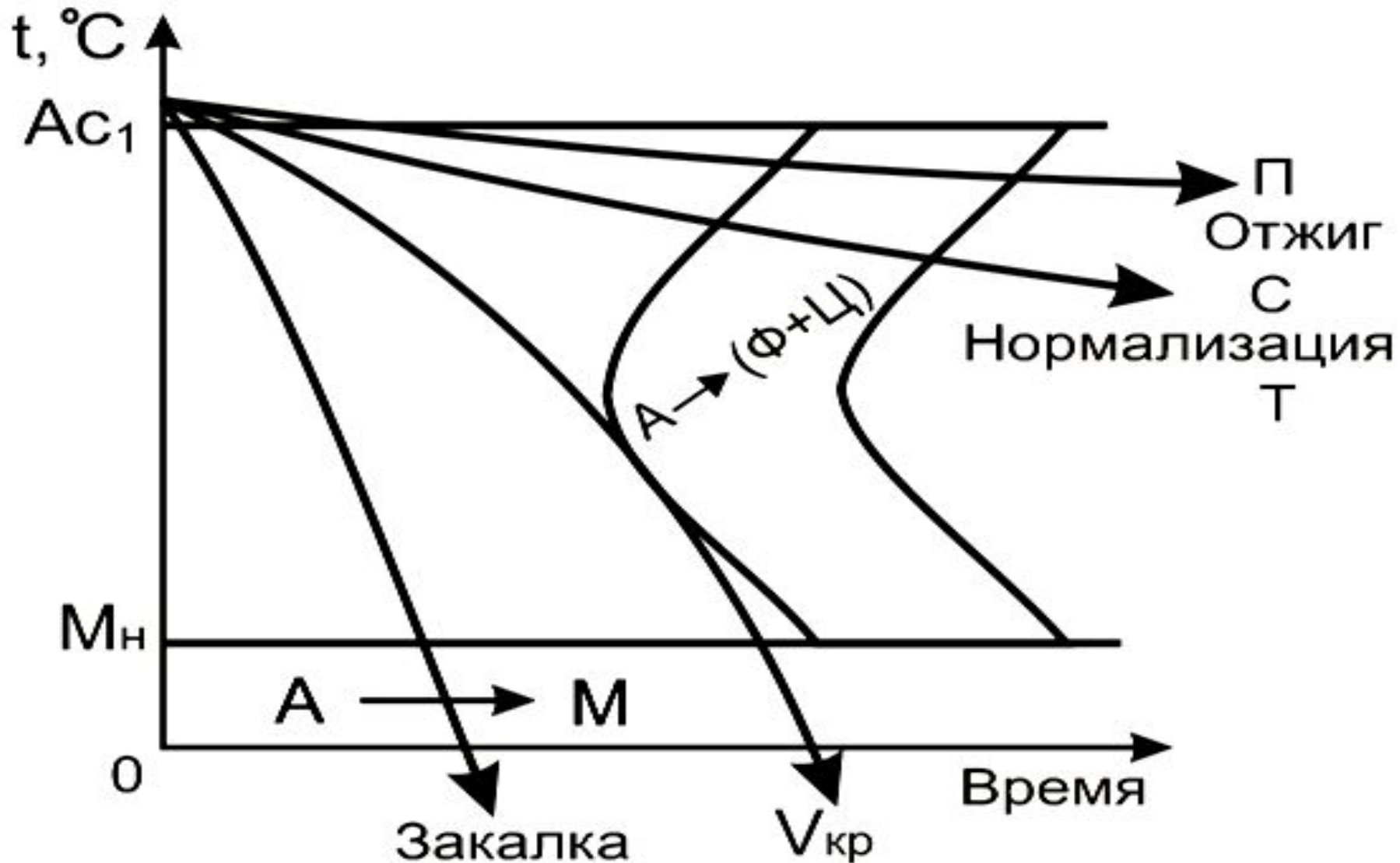
3) **Высокий отпуск.** Нагрев – 500 – 680°C, выдержка – 1 – 8 ч. Полностью снимаются внутренние напряжения. Структура – сорбит отпуска – 25 – 35 HRC. Наилучшее соотношение

Влияние температуры отпуска на механические свойства закаленной стали



Влияние температуры отпуска на механические свойства закаленной стали с 0,4%С

Диаграмма изотермического распада аустенита для эвтектоидной стали с нанесенными на нее скоростями охлаждения при различных видах термообработки



работают в условиях изнашивания, высоких контактных нагрузок, например, детали подшипников качения, режущий, измерительный инструмент. *Структура* для доэвтектоидной стали – мартенсит отпуска (*полная закалка*), для заэвтектоидной – мартенсит отпуска + цементит вторичный

(*неполная закалка*). **Твердость – 60 HRC**

Закалку с последующим средним отпуском применяют для упругих элементов машин из высокоуглеродистых сталей: пружин, мембран, рессор *Структура* – троостит отпуска, обеспечивает высокий предел упругости, выносливости и релаксационную стойкость.

Твердость – 40 HRC.

Полная закалка с последующим высоким отпуском, (называется термическим улучшением) создает наилучшее сочетание прочности и пластичности стали, **повышенная ударная вязкость, и применяется** для деталей машин из среднеуглеродистых сталей, испытывающих статические и динамические или циклические нагрузки (валы, шатуны, оси, крепежные детали). *Структура* – зернистый сорбит отпуска.

Твердость – 30 HRC.