

Отжиг 2 рода

Отжиг сталей (отжиг 2-го рода) — это термическая обработка, при которой главными процессами являются аустенитизация с последующим перлитным превращением.

Основой для изучения термической обработки стали является диаграмма железо—углерод.

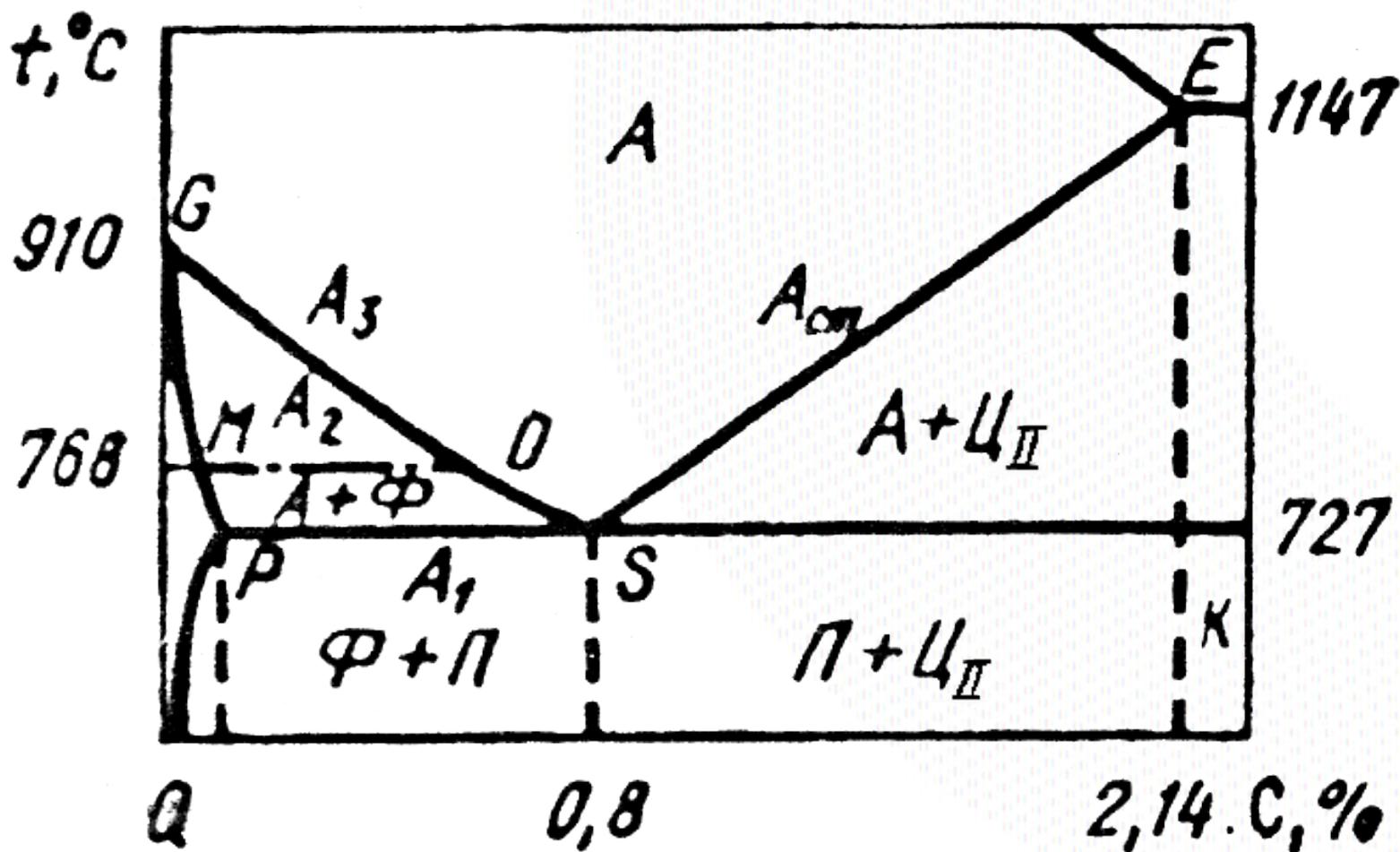
Верхней температурной границей при термической обработке является линия солидуса, поэтому процессы первичной кристаллизации и, следовательно, верхняя часть диаграммы для нас в данном случае не имеют большого значения.

Любая разновидность термической обработки состоит из комбинации четырех основных превращений, в основе которых лежат стремления системы к минимуму свободной энергии.

При рассмотрении разных видов термообработки железо-углеродистых сплавов (стали, чугуны) используются следующие условные обозначения критических точек этих сплавов



Обозначение критических точек стали



Критические точки A_1 лежат на линии PSK (727°C) и соответствует превращению аустенит \rightarrow перлит.

Критические точки A_2 находятся на линии MO (768°C).

Критические точки A_3 лежат на линии GS, а критические точки A_{cm} — на линии SE. Верхняя критическая точка A_3 лежит на линии GSE и соответствует началу выпадения или концу растворения феррита в доэвтектоидных сталях или цементита (вторичного) в заэвтектоидных сталях.

Вследствие теплового гистерезиса превращения при нагреве и охлаждении проходят при разных температурах. Поэтому для обозначения критических точек при нагреве и охлаждении используют дополнительные индексы: буквы «с» в случае нагрева и «r» в случае охлаждения. Например, A_{C1} , A_{C3} , A_{r1} , A_{r3} .

Чтобы отличить критическую точку при нагреве от критической точки при охлаждении, рядом с буквой A ставят букву c в первом случае и r — во втором.



аустенит (А) — твердый раствор углерода в γ -железе $\text{Fe}_\gamma(\text{C})$;
мартенсит (М) — твердый раствор углерода в α -железе $\text{Fe}_\alpha(\text{C})$;
перлит (П) — эвтектоидная смесь из одновременно образующихся феррита и карбида $\text{Fe}_\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (ничтожно малой равновесной растворимостью углерода в феррите пренебрегаем).

При термической обработке стали наблюдаются четыре основных превращения.

I. Превращение перлита в аустенит, протекающее выше точки A_{c1} $\text{Fe}_\alpha + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe}_\gamma(\text{C})$ или $\text{П} \rightarrow \text{А}$.

II. Превращение аустенита в перлит, протекающее ниже A_r .
 $\text{Fe}_\gamma(\text{C}) \rightarrow \text{Fe}_\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ или $\text{А} \rightarrow \text{П}$.

III. Превращение аустенита в мартенсит:

$\text{Fe}_\gamma(\text{C}) \rightarrow \text{Fe}_\alpha^M(\text{C})$ или $\text{А} \rightarrow \text{М}$.

IV. Превращение мартенсита в перлит, точнее в феррито-карбидную смесь:

$\text{Fe}_\alpha(\text{C}) \rightarrow \text{Fe}_\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ или $\text{М} \rightarrow \text{П}$.

Оно происходит при всех температурах, так как при всех температурах свободная энергия мартенсита больше свободной энергии перлита.

Превращение перлита в мартенсит невозможно, так как при всех температурах мартенсит обладает большей свободной энергией, чем перлит.

Механизм основных превращений

1. Превращение перлита в аустенит (механизм аустенитизации)

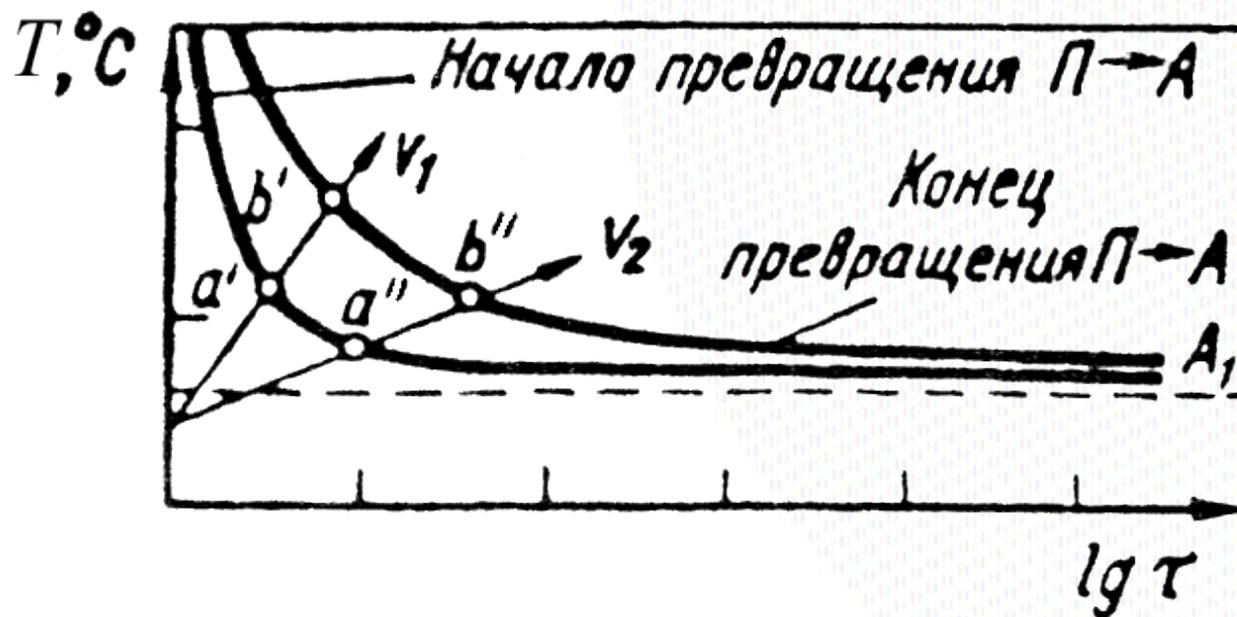


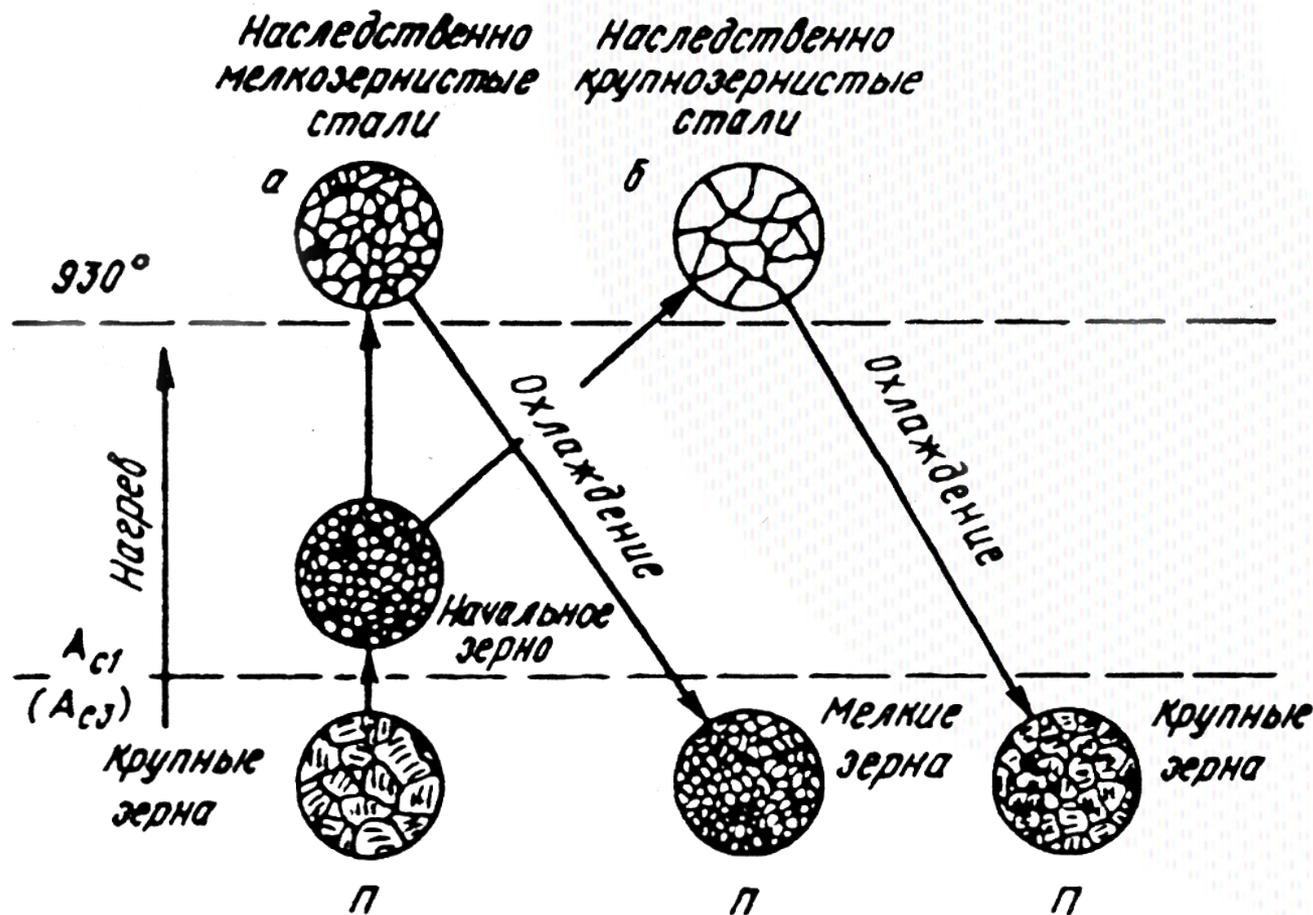
Диаграмма изотермического превращения перлита в аустенит эвтектоидной стали: a' , a'' — точки начала превращения со скоростями v_1 , v_2 ; b' , b'' — точки конца превращения со скоростями v_1 , v_2 ($v_1 > v_2$)

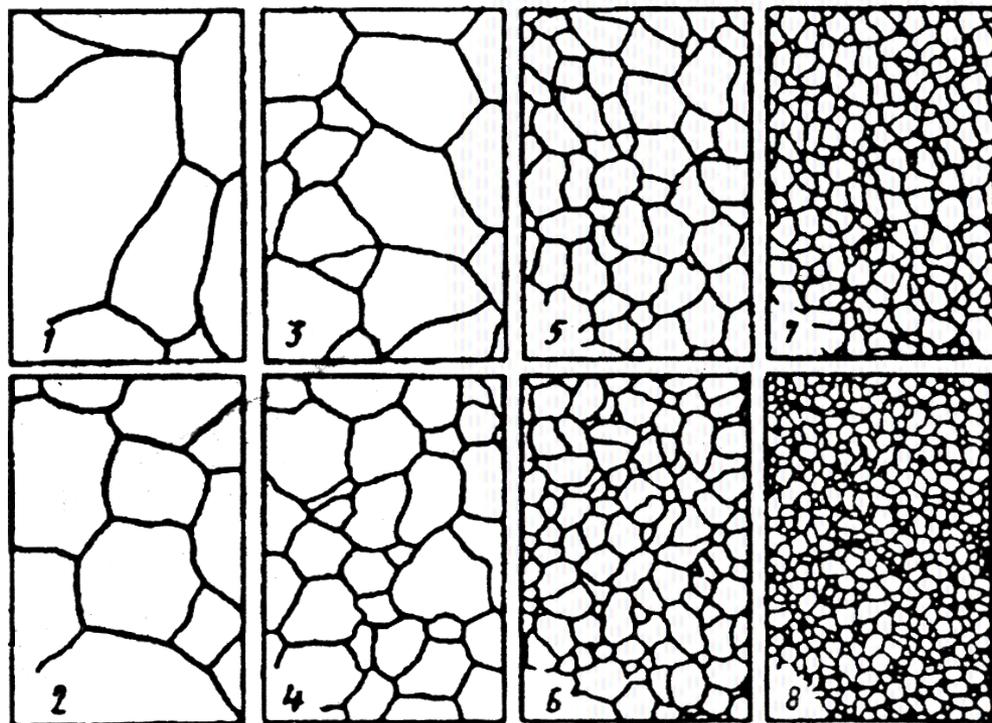


Схема изменения размера зерна в зависимости от температуры нагрева стали:

а) наследственно мелкозернистые стали;

б) наследственно крупнозернистые стали



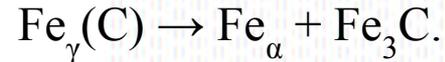


Эталонная шкала баллов для оценки размера зерна стали



Перлитное превращение

Превращение аустенита в перлит заключается в распаде аустенита — твердого раствора углерода в железе, на почти чистое α -железо и цементит:



При температуре равновесия A_1 превращение аустенита в перлит невозможно, так как при этой температуре свободные энергии исходного аустенита и конечного перлита равны.

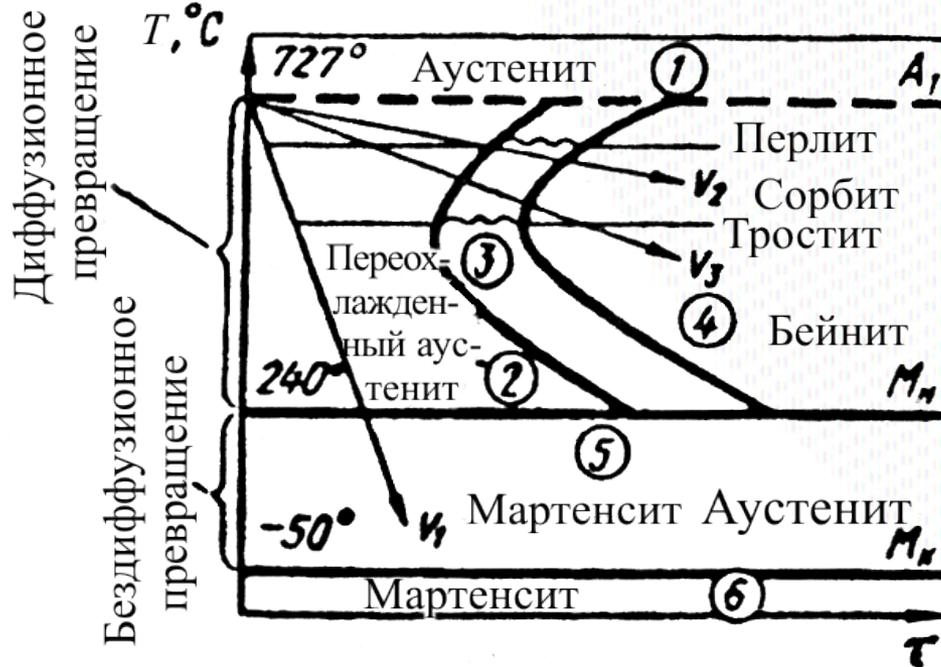


Диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали

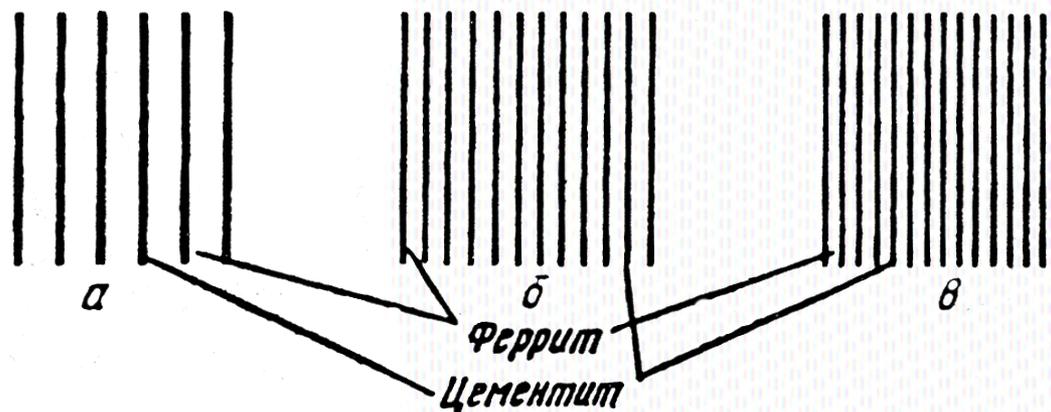


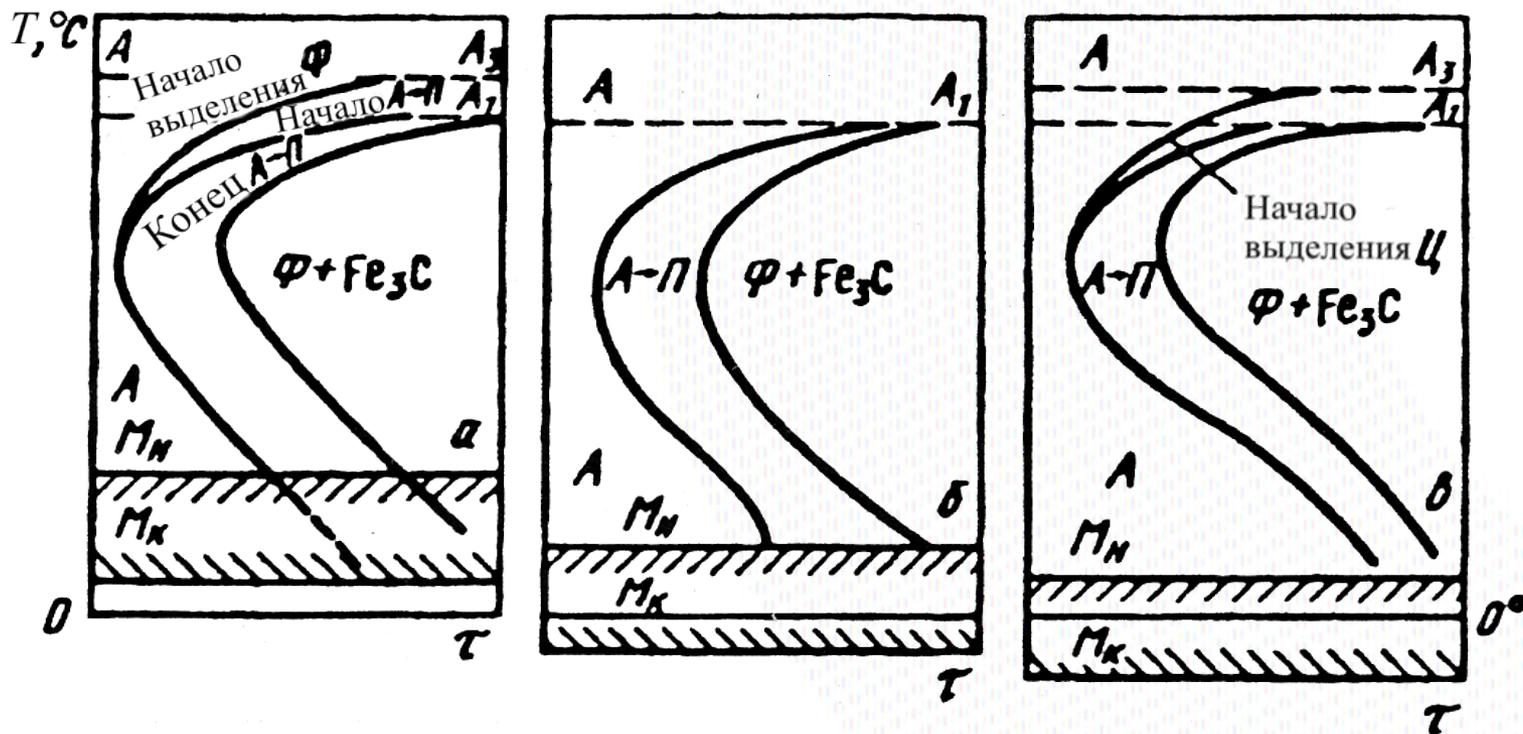
Схема феррито-цементитных структур:

а) перлит; б) сорбит; в) троостит

При температуре 600–650°C образуется сорбит, а при 550–600°C — троостит.

Перлит, сорбит, троостит являются структурами одной природы — механической смесью феррита и цементита и отличаются друг от друга лишь степенью дисперсности. С увеличением степени дисперсности пластин цементита растут твердость и прочность стали. Наибольшую пластичность имеют стали с сорбитной структурой. Троостит, образующийся при более низкой температуре превращения, характеризуется меньшей пластичностью. Перлит, сорбит и троостит называют *перлитными* структурами.





Схемы диаграммы изотермического превращения
переохлажденного аустенита:

- а) доэвтектоидная сталь; б) эвтектоидная сталь; в)
заэвтектоидная сталь



Промежуточное превращение

При температуре ниже 550°C самодиффузия атомов железа практически не происходит, а атомы углерода обладают достаточной подвижностью.

Механизм превращения состоит в том, что внутри аустенита происходит перераспределение атомов углерода и участки аустенита, обогащенные углеродом, превращаются в цементит.

Такая структура, состоящая из цементита и феррита, называется *бейнитом*. Особенностью является повышенное содержание углерода в феррите ($0.1 \dots 0.2 \%$).

Дисперсность кристаллов феррита и цементита зависят от температуры превращения.

При температуре 550°C : $\Delta_0 = 0,12 \cdot 10^{-3}$ мм – *верхний бейнит*.

Структура характеризуется недостаточной прочностью, при низких относительном удлинении (δ) и ударной вязкости (a_n).

При температуре 300°C : $\Delta_0 = 0,08 \cdot 10^{-3}$ мм – *нижний бейнит*. Структура характеризуется высокой прочностью в сочетании с пластичностью и вязкостью.



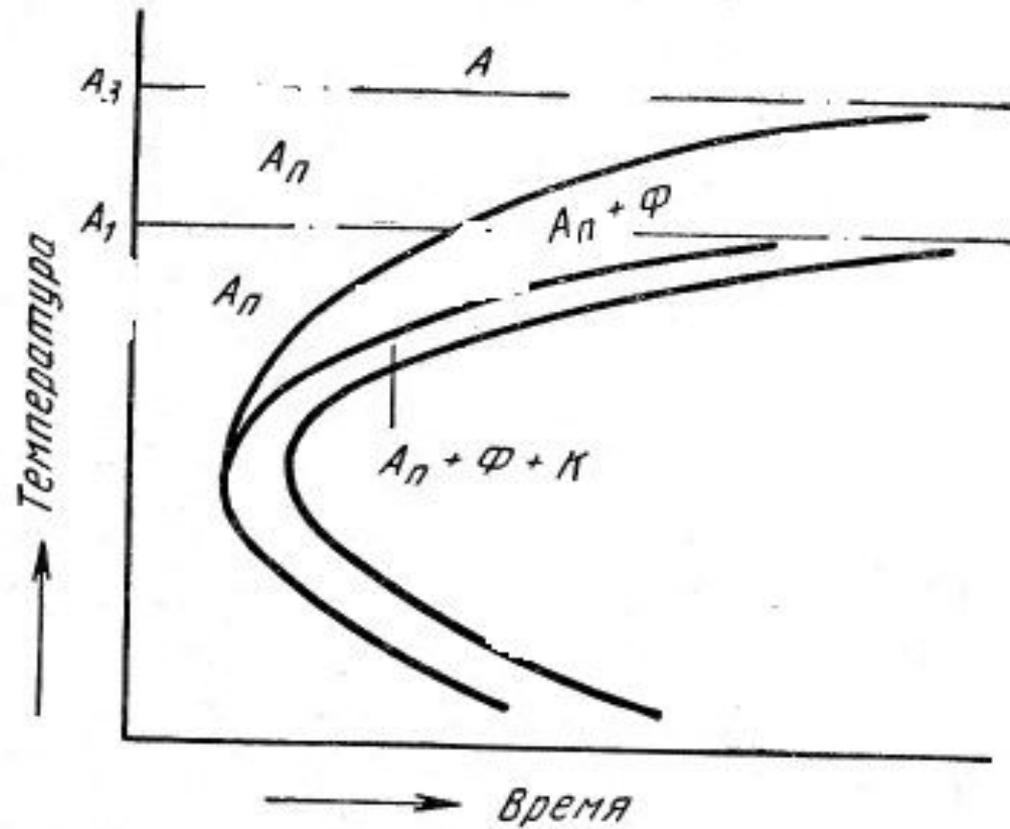


Диаграмма изотермического распада аустенита в доэвтектоидной стали (схема): А-устойчивый аустенит; A_n - - переохлажденный аустенит; Φ —феррит; К-карбид



Видманштеттов феррит образуется в интервале от A_3 минус $50^\circ C$ до $600—550^\circ C$. С увеличением содержания углерода в стали доля видманштеттова феррита в структуре уменьшается.

Влияние легирующих элементов на перлитное превращение

Легирующие элементы оказывают чрезвычайно важное для практики влияние на кинетику распада аустенита. За исключением кобальта, все широко используемые легирующие элементы, растворенные в аустените (Cr, Ni, Mn, W, Mo, V и др.), замедляют перлитное превращение, сдвигая верхнюю часть С-кривой вправо.

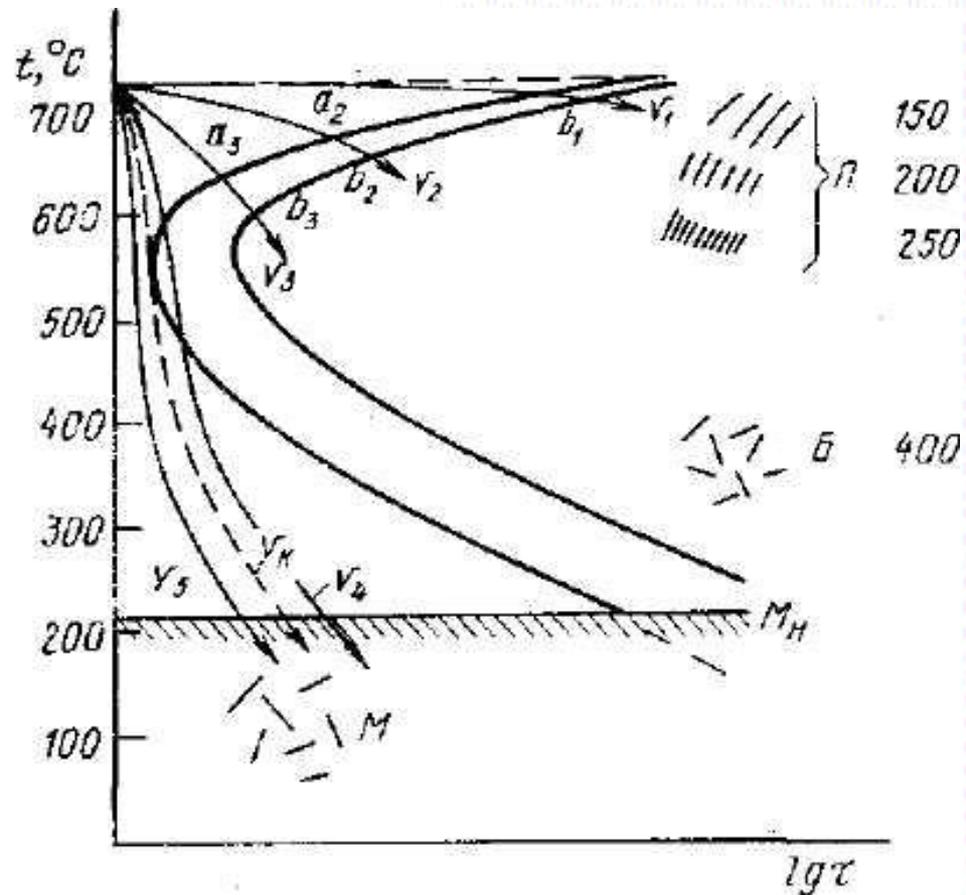
Легирующие элементы могут замедлять перлитное превращение по следующим причинам:

1) из-за образования специальных карбидов и необходимости диффузионного перераспределения в аустените легирующих элементов, атомы которых несравненно менее подвижны, чем атомы углерода;

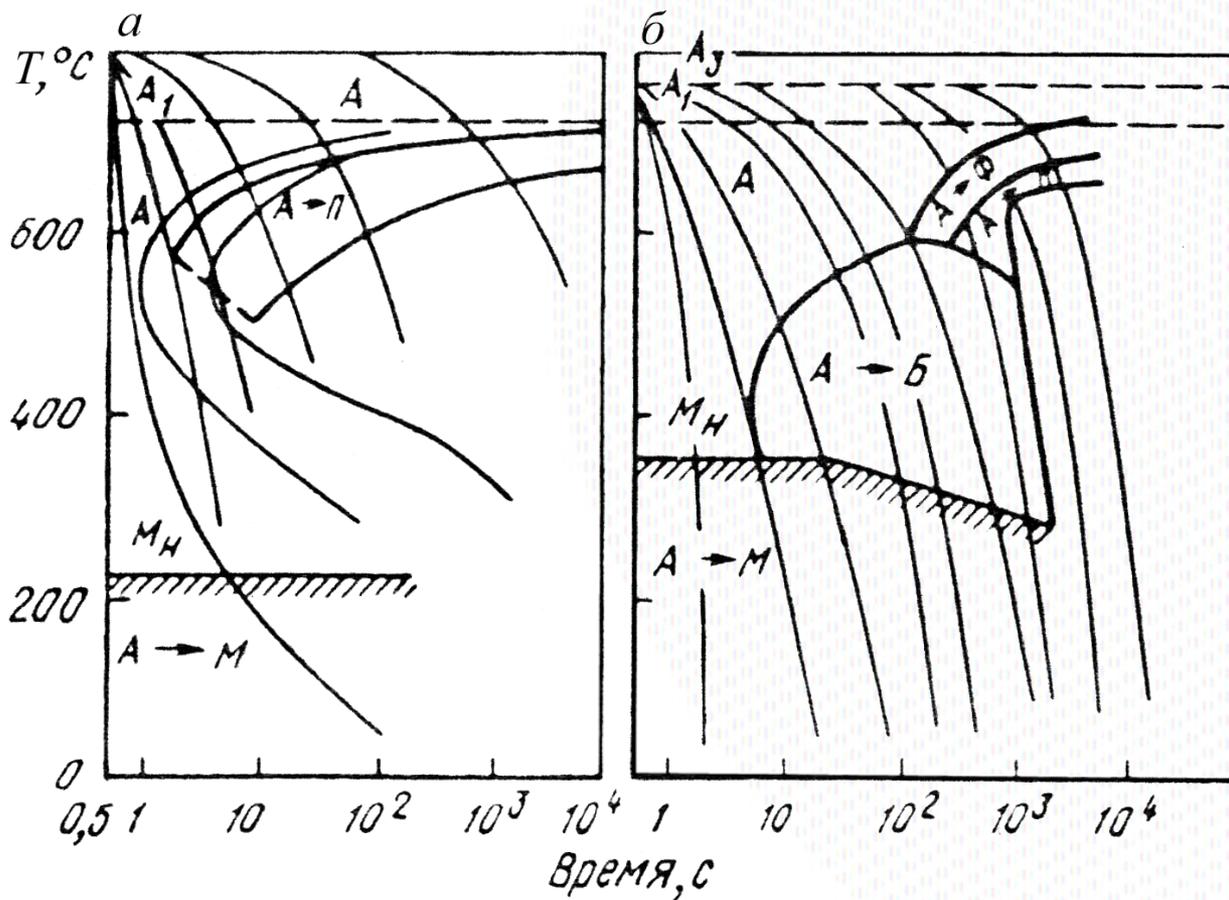
2) из-за замедления диффузии углерода;

3) из-за уменьшения скорости полиморфного превращения.





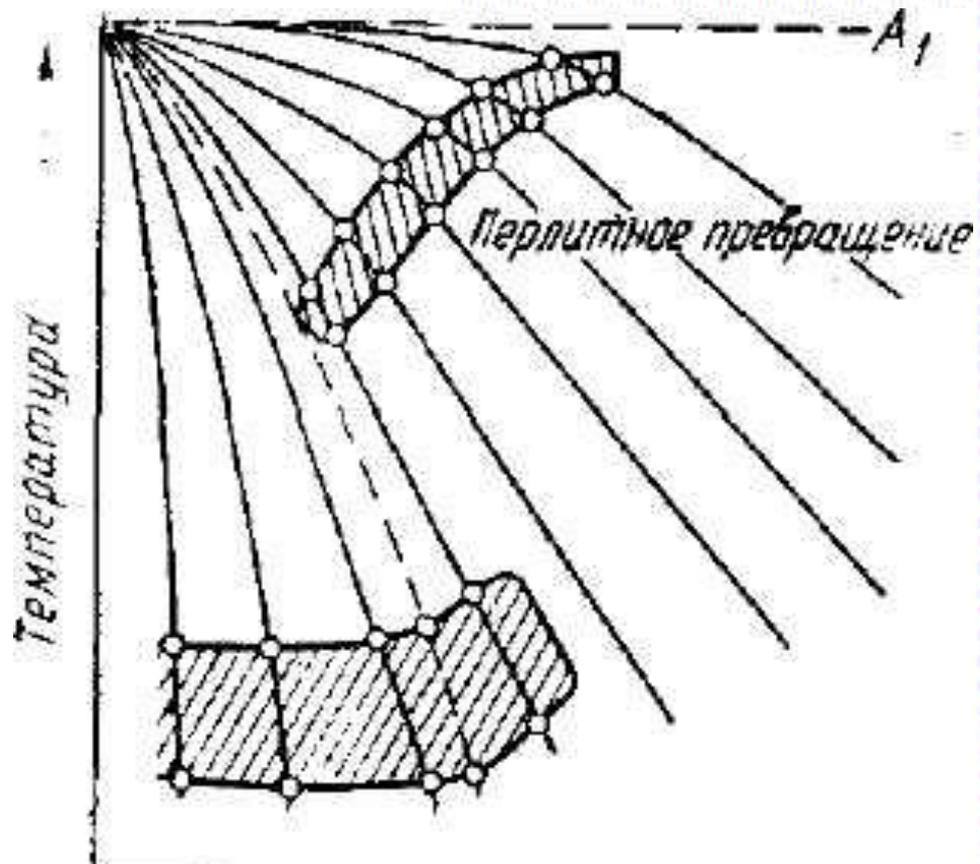
Наложение на диаграмму изотермического распада
аустенита кривых охлаждения



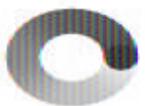
Термокинетические диаграммы превращения переохлажденного аустенита:

а) эвтектоидная сталь; б) доэвтектоидная легированная сталь, содержащая 0,39 % С, 1 % Сг, 0,15 % Мо. Тонкие линии на рис. а соответствуют диаграмме изотермического превращения переохлажденного аустенита





Анизотермическая диаграмма превращения аустенита (схема)



Влияние скорости охлаждения на температуру и характер превращения аустенита

№	Скорость охлаждения, °C/с	Способ охлаждения	Температурный интервал распада аустенита, °C	Структура	Твердость, НВ
1	0,1	С печью	715-710	П крупнопластинчатый	170-180
2	1-2	На воздухе	680-670	П мелкопластинчатый	220-240
3	10-30	В струе воздуха	650-630	С(сорбит)	250-300
4	40-60	В горячей воде (~60°C)	600-570	Т(троостит)	350-400
5	100-150	В масле	650-500	Т	500-550
			220-80	М	
6	>300	В воде (~200°C)	220-80	М+А _{ост}	600-650

