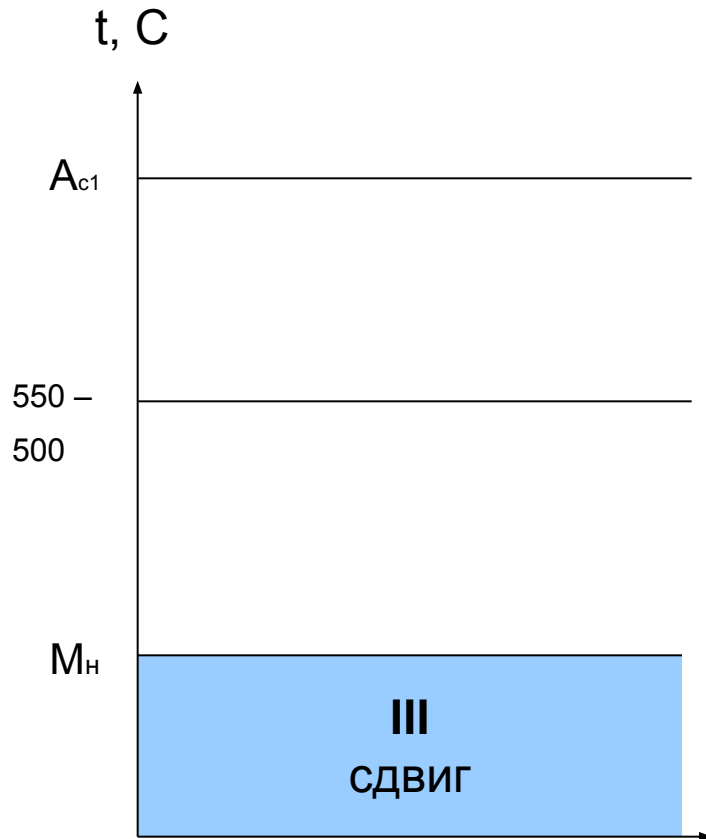


Мартенситное превращение

Мартенситное превращение

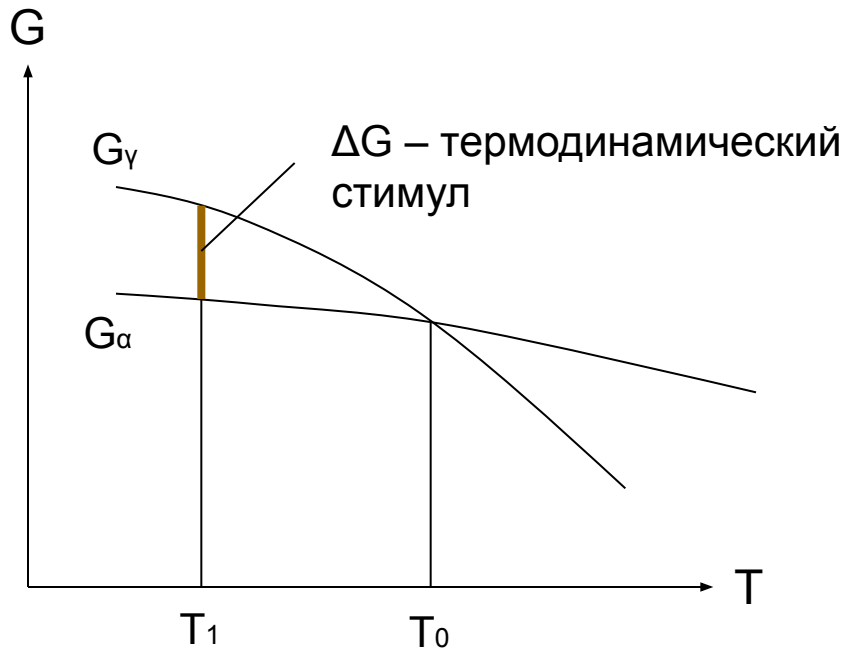
Аустенит является высокотемпературной фазой, и при температуре ниже A_{c1} будет претерпевать тот или иной тип превращения. Аустенит, имеющий температуру ниже A_{c1} , но не претерпевший превращения, называется **переохлажденным**. Конечная структура после охлаждения зависит от механизма превращения аустенита, определяемого температурным интервалом превращения.



III область: диффузионная подвижность атомов Fe, C и легирующих элементов подавлена, превращение идет сдвиговым путем – упорядоченным кооперативным перемещением больших групп атомов на расстояние много меньше межатомного без обмена атомов в исходной и конечной фазах – **мартенситное превращение**

Мартенситное превращение

Мартенситное превращение наблюдается в сплавах Fe – C, в сплавах на основе титана и в чистых металлах. Протекание превращения возможно в условиях значительного переохлаждения.



$$\delta G = -V\delta f + S\sigma + E_{упр}$$

где:

V - объем образующейся новой фазы;

Δf - разность объемных свободных энергий фаз;

S - площадь поверхности новой фазы;

σ - поверхностное натяжение;

$E_{упр}$ - энергия упругой деформации.

$E_{упр}$ велико (сдвиговой механизм), поэтому для начала превращения требуется значительное переохлаждение ниже T_0

Основные особенности мартенситного превращения:

- 1) Высокая скорость образования мартенсита – около 10^5 см/с – сопоставима со скоростью звука
- 2) Быстрое прекращение роста кристалла. Время образования порядка 10^{-7} с.

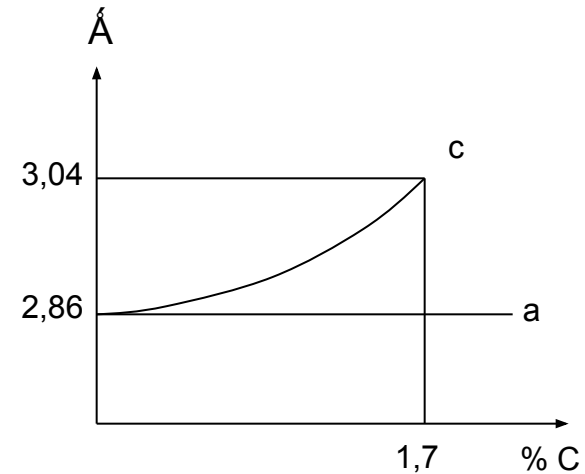
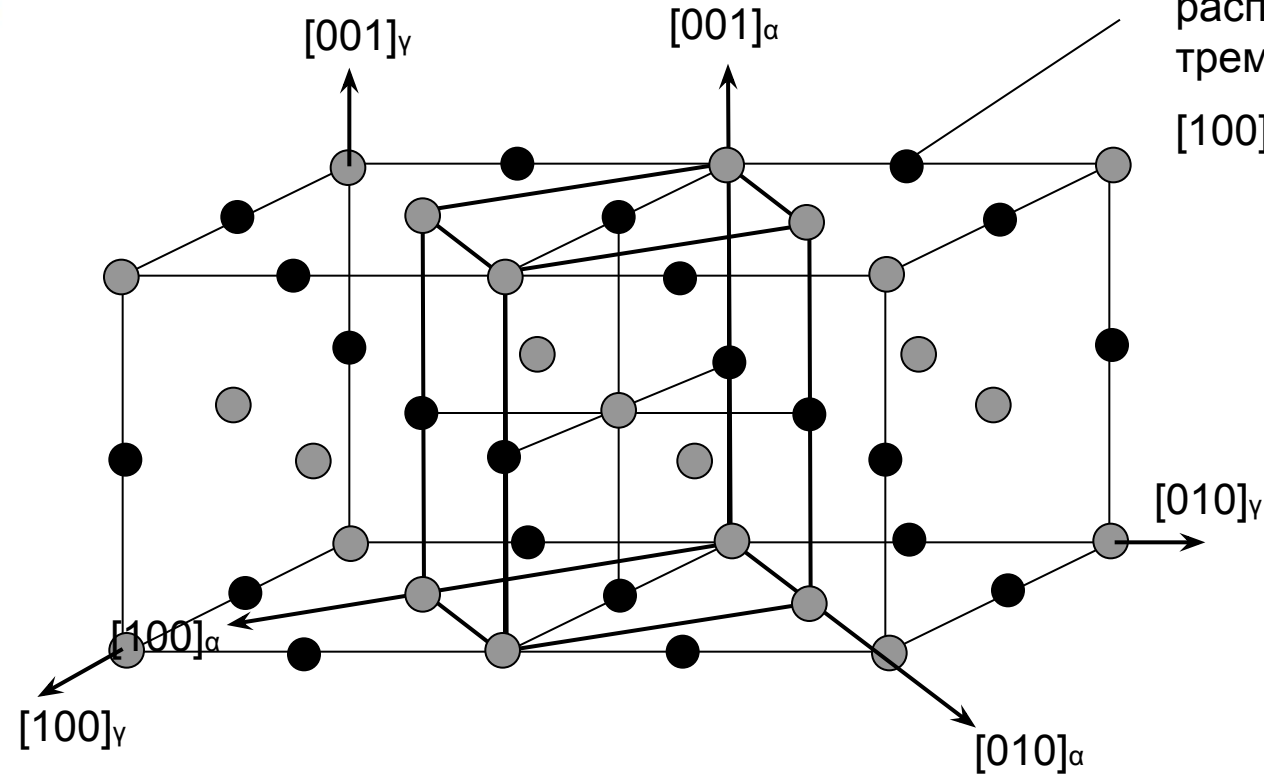
Мартенситное превращение

Кристаллография мартенситного превращения

ГЦК решетка аустенита

Атомы углерода в октапорах
распределены равномерно по
трем направлениям:

$[100]$, $[010]$, $[001]$



ОЦТ решетка мартенсита: атомы углерода расположены по направлениям $[001]$ в тетрапорах и повышают степень тетрагональности c/a .

Мартенситное превращение

Классификация мартенсита

1) По кристаллической структуре

α_M – ОЦТ решетка

ϵ_M – ГПУ решетка

2) По температуре образования

низкотемпературный

высокотемпературный

3) По форме кристаллов

игольчатый

пластинчатый

пакетный

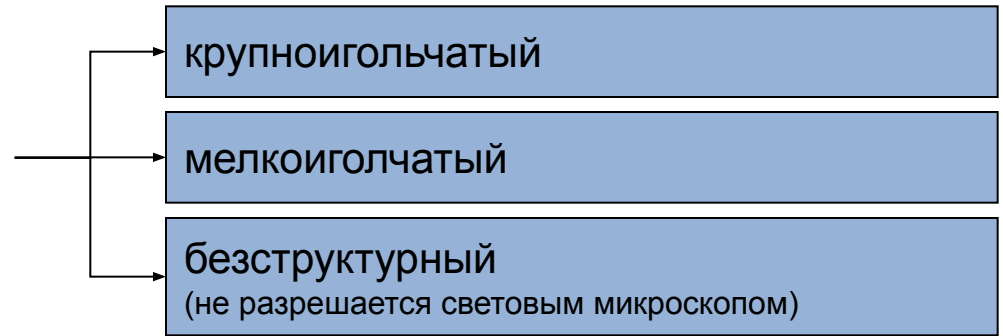
«бабочка» (ϵ_M с ГПУ)



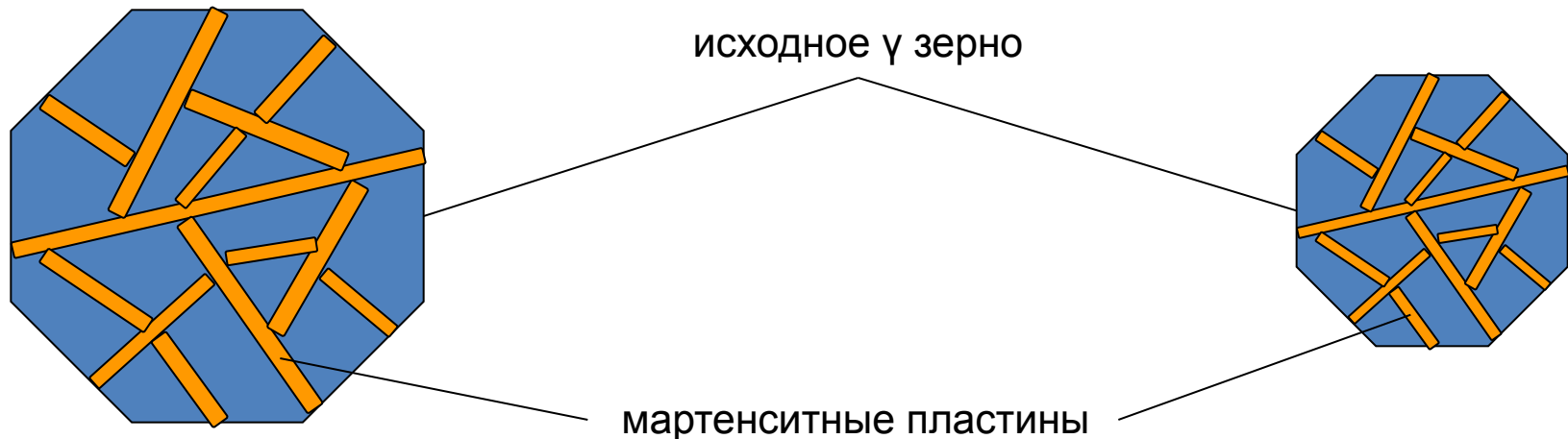
Мартенситное превращение

Классификация мартенсита

4) По размерам кристаллов



Размеры игл мартенсита главным образом будут определяться размерами исходного аустенитного зерна: чем меньше зерно, тем меньше иглы мартенсита.



Мартенситное превращение

Классификация мартенсита

5) По морфологии

Пластинчатый

(низкотемпературный игольчатый двойникованный)

Кристаллы имеют форму двояковыпуклых линз.

Характерен для углеродистых и легированных сталей

Пакетный

(высокотемпературный, реечный, массивный, недвойникованный)

«Баттерфляй» мартенсит

ε мартенсит с ГПУ решеткой, зарождается на дефектах упаковки.

Встречается в сталях, легированных Mn.

6) По степени легирования

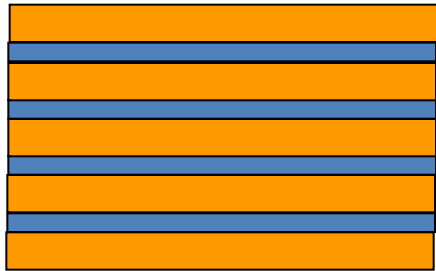
высоколегированный

низколегированный

Мартенситное превращение

Строение мартенситных кристаллов

1. Реечный (дислокационный) мартенсит



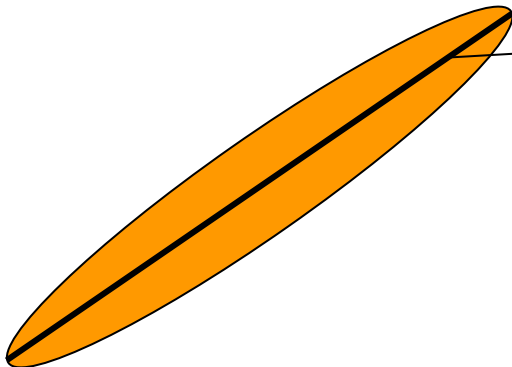
мартенситный пакет

Кристалл – рейка мартенсита с высокой плотностью дислокаций (10^{11} – 10^{12} см⁻²). Толщина рейки 0,2 – 2 мкм, соотношение размеров обычно 1:7:30 (толщина:ширина:длина).

Тонкие прослойки остаточного аустенита (10 – 20 нм).



2. Линзовидный (двойникованный) мартенсит



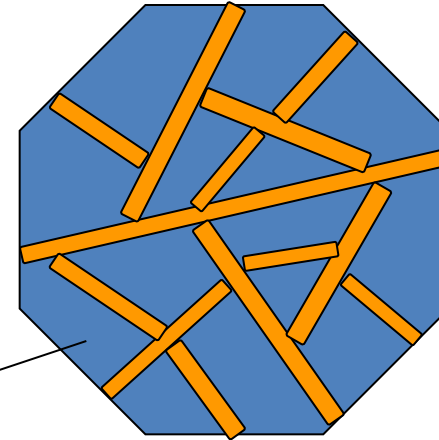
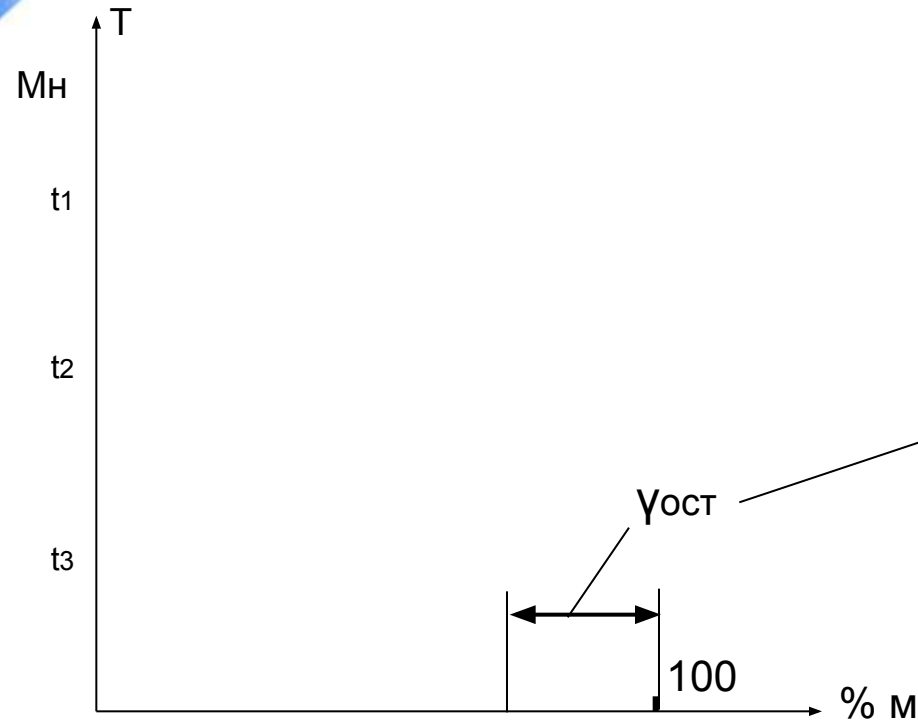
Линия повышенной травимости – **мидриб** – участок скопления двойников.



Мартенситное превращение

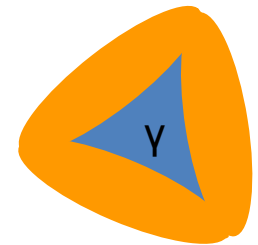
Кинетика мартенситного превращения

1. Атермическая кинетика



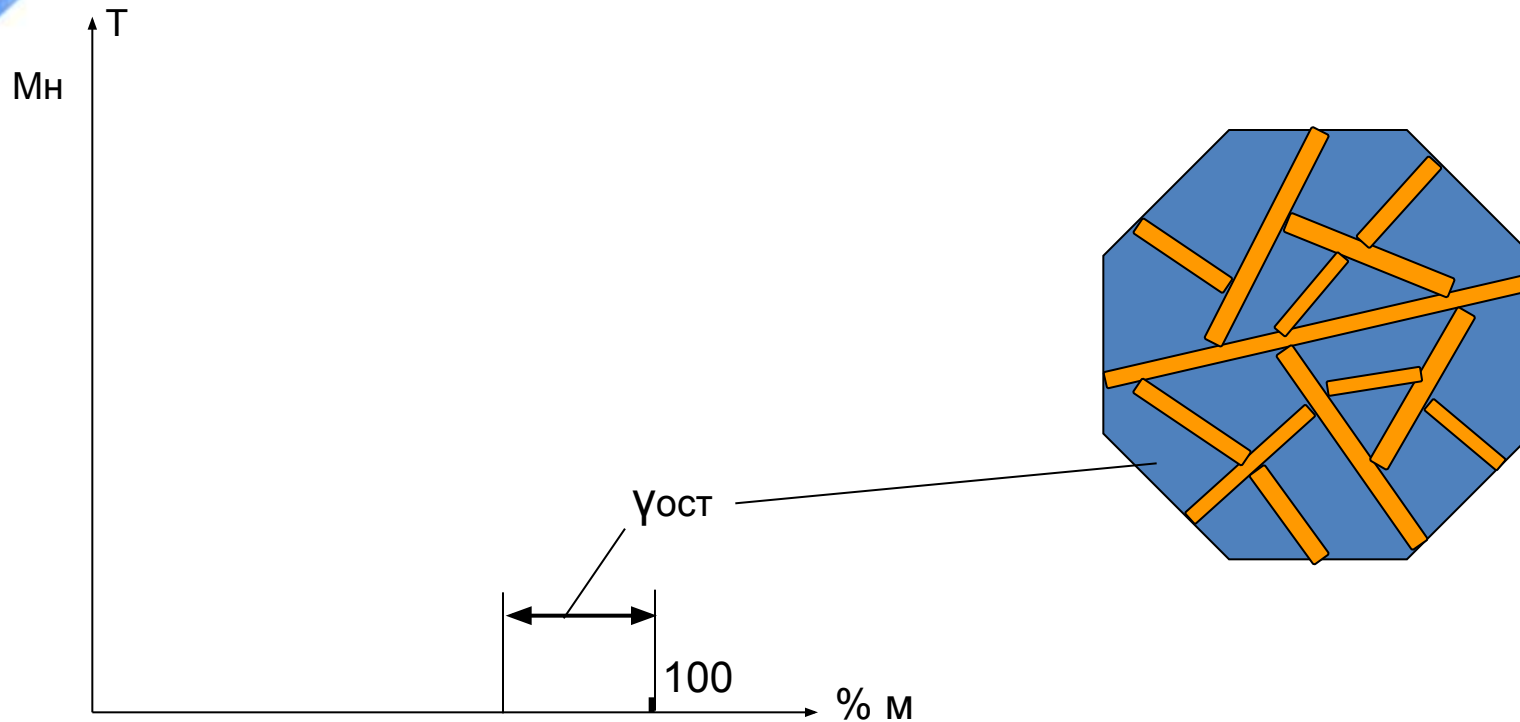
При атермической кинетике каждой температуре переохлаждения относительно Мн соответствует своя степень распада. При этом сохраняется часть аустенита.

Наличие остаточного аустенита объясняется тем, что мартенситное превращение идет со значительным положительным объемным эффектом. В результате последние микрообъемы аустенита испытывают напряжение всестороннего сжатия со стороны пластин мартенсита, что препятствует перестройке ГЦК решетки аустенита в ОЦТ решетку мартенсита.



Кинетика мартенситного превращения

2. Взрывная кинетика



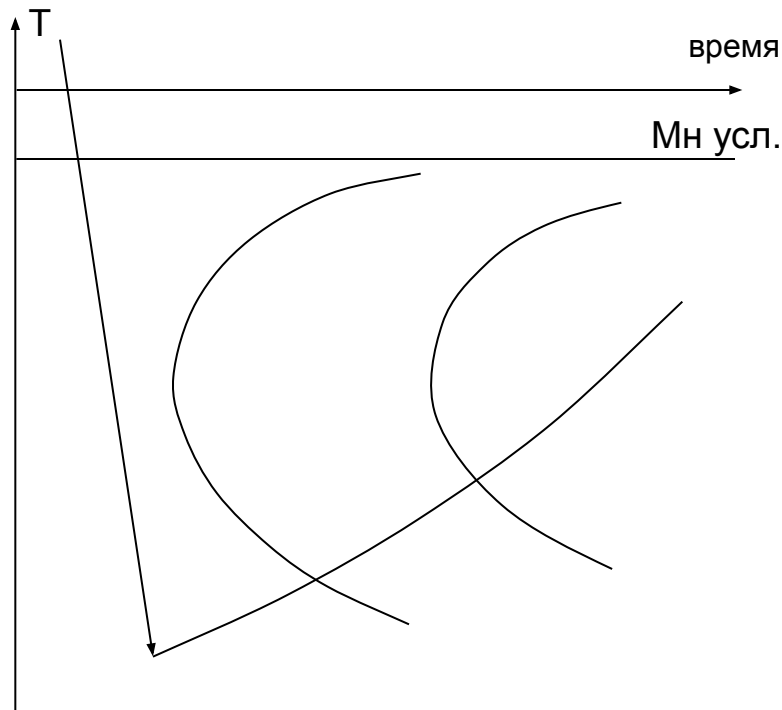
При взрывной кинетике сразу образуется большая порция мартенсита при температуре M_n или чуть ниже. Взрывное превращение сопровождается выделением тепла (скрытая теплота превращения) и звуковым эффектом (щелчки).

Наблюдается в сплавах с низким температурным интервалом мартенситного превращения (например Fe-Ni).

Кинетика мартенситного превращения

3. Изотермическая кинетика

Изотермическая кинетика в отличие от атермической или взрывной, имеет ряд черт, характерных для кинетики обычного диффузионного превращения. Такая кинетика характерна для высоколегированных сплавов, точка M_n которых лежит ниже комнатных температур.



При изотермической кинетике превращению предшествует инкубационный период, температурную зависимость которого можно описать С – образными кривыми. Образование мартенсита зависит от скорости понижения температуры: чем она выше, тем при более низкой температуре начинается превращение. Вследствие этого положение точки M_n становится неопределенным. Иногда в качестве условной точки M_n принимают температуру, ниже которой возможно образование мартенсита (см. рис.).

При достаточно быстром охлаждении до низких температур образование мартенсита может быть полностью подавлено, и тогда превращение происходит при последующем нагреве.

Следует отметить, что при изотермической кинетике сохраняются все основные черты мартенситного превращения. Рост отдельных кристаллов происходит с большой скоростью, независящей от температуры. Превращение распространяется на интервал температур и в изотермических условиях до конца не идет.

Мартенситное превращение

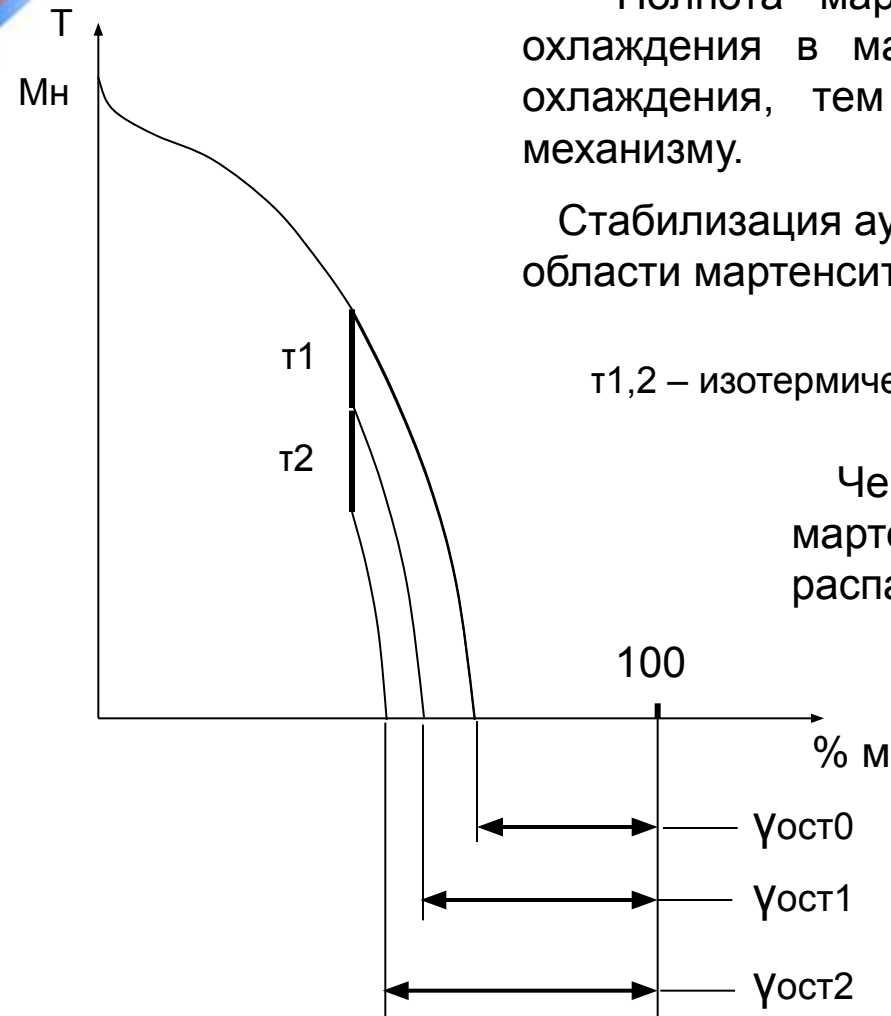
Термическая стабилизация аустенита

Полнота мартенситного превращения зависит от скорости охлаждения в мартенситном интервале. Чем больше скорость охлаждения, тем больше степень распада по мартенситному механизму.

Стабилизация аустенита – это прерывание процесса охлаждения в области мартенситного превращения.

$\tau_{1,2}$ – изотермическая выдержка

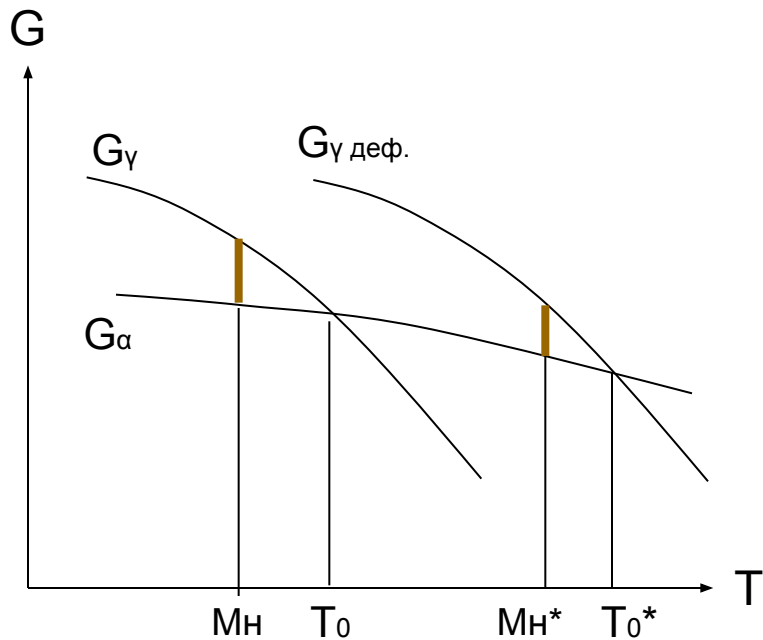
Чем больше изотермическая выдержка в интервале мартенситного превращения, тем меньше степень распада и больше количество остаточного аустенита.



$\tau_2 > \tau_1, \gamma_{ост2} > \gamma_{ост1}$

Мартенситное превращение

Влияние деформации на мартенситное превращение



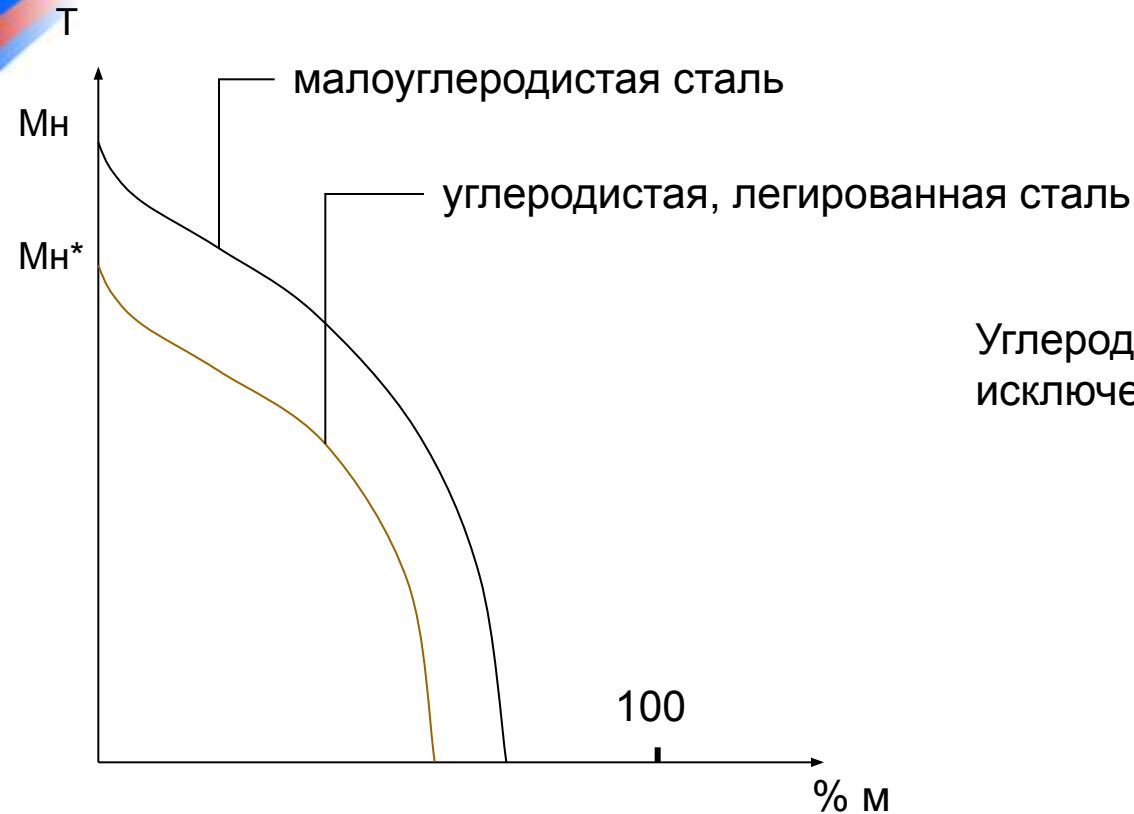
Деформация аустенита повышает уровень его свободной энергии, в результате точка M_n смещается в область более высоких температур и может происходить мартенситное превращение.

Мартенсит деформации отличается от обычного более мелкокристаллическим строением и повышенной плотностью дислокаций (наследуется дислокационная структура деформированного аустенита).

При высоких степенях деформации мартенситное превращение может быть подавлено, так как возникающие при деформации напряжения будут препятствовать перестройке решетки аустенита в решетку мартенсита сдвиговым путем – **механическая стабилизация аустенита**.

Мартенситное превращение

Влияние состава сплава на положение точки Мн

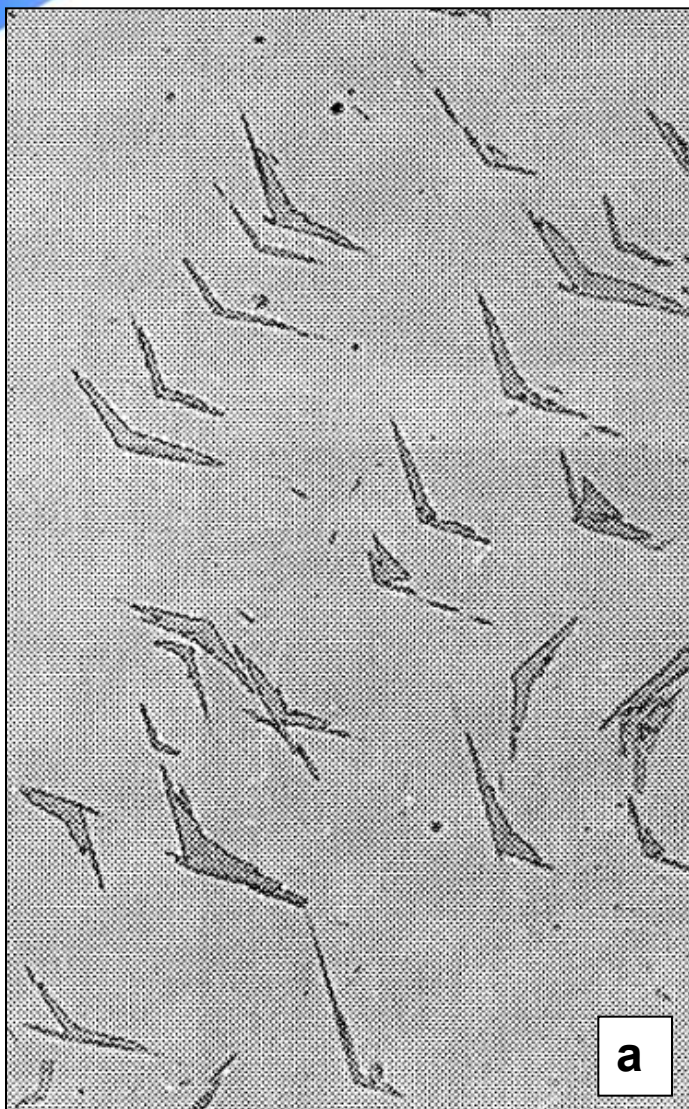


Углерод и все легирующие элементы (за исключением Со и Al) понижают Мн.

Влияние содержания углерода и легирующих элементов оценивают по формуле Попова:

$$M_n = 520 - 320 \cdot \%C - 50 \cdot \%Mn - 30 \cdot \%Cr - 20(\%Ni + \%Mo) - 5(\%Cu + \%Si)$$

Мартенситное превращение

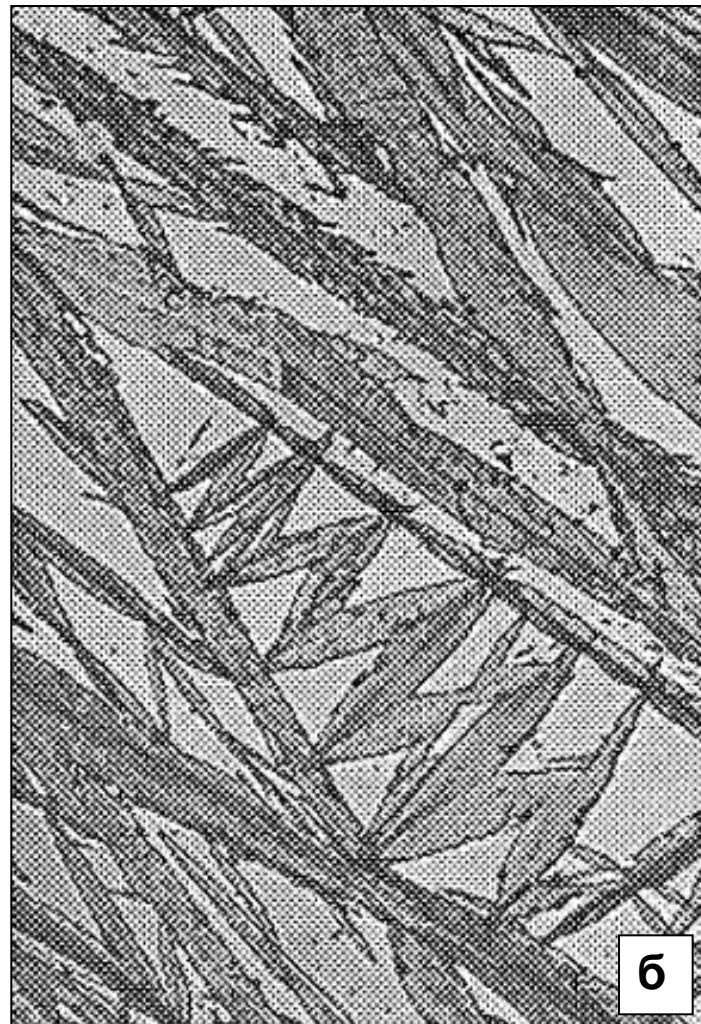
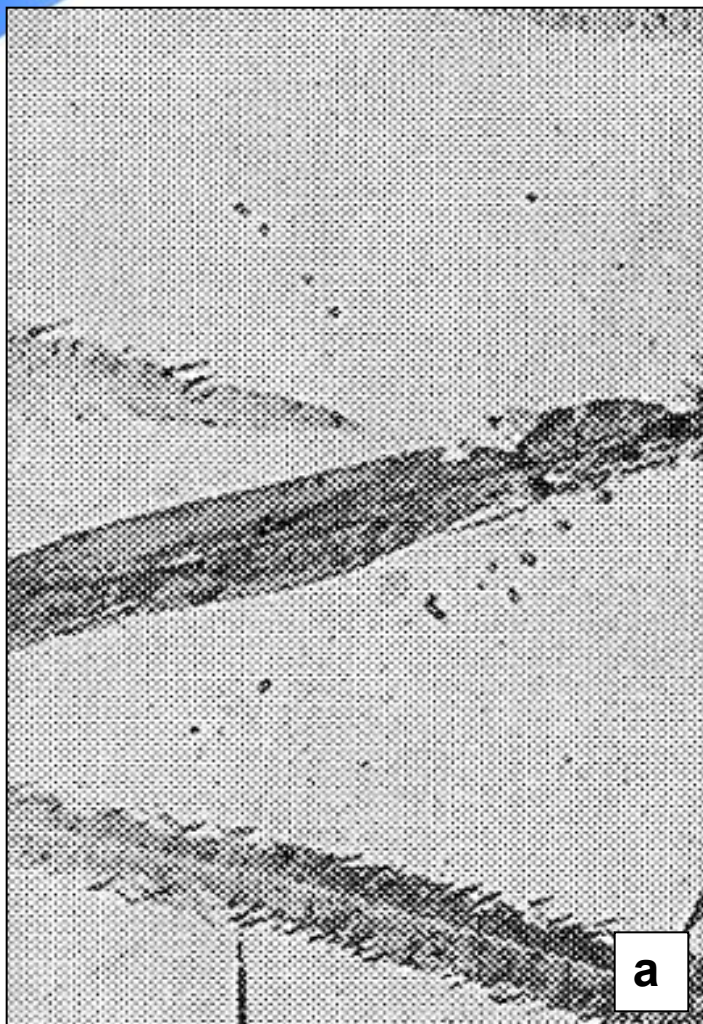


Микроструктура стали с бабблерфляй – мартенситом, х150

а – начало превращения
б – развитие превращения



Мартенситное превращение

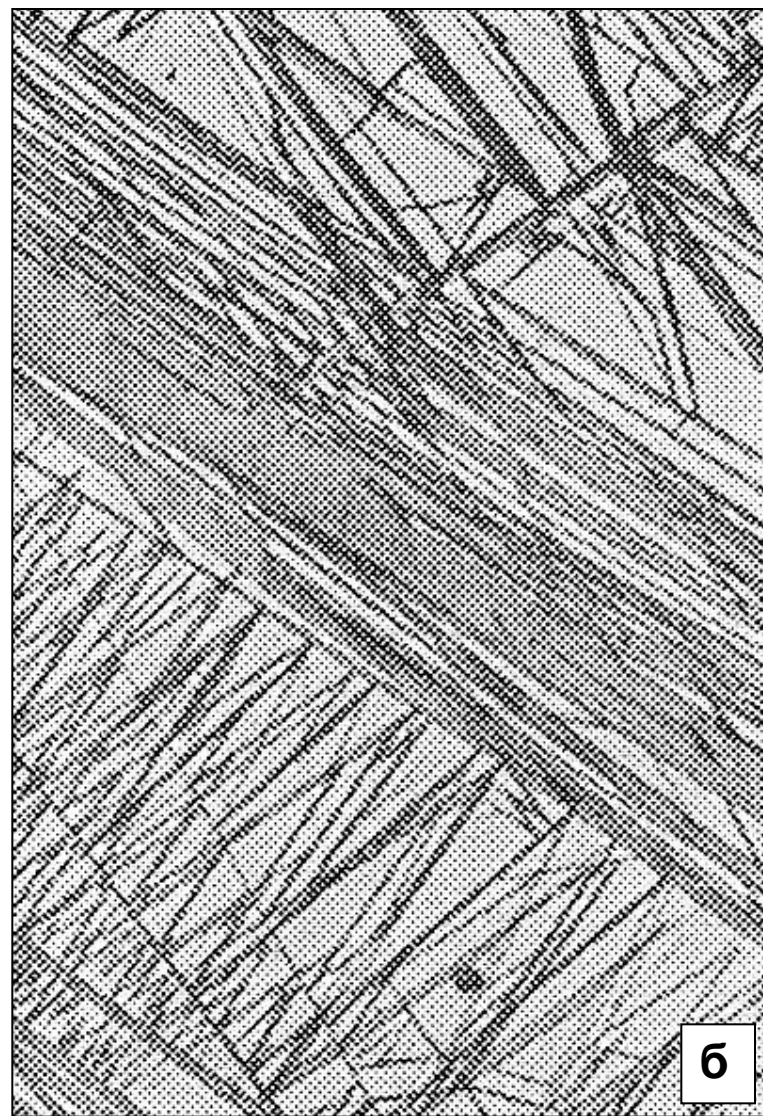
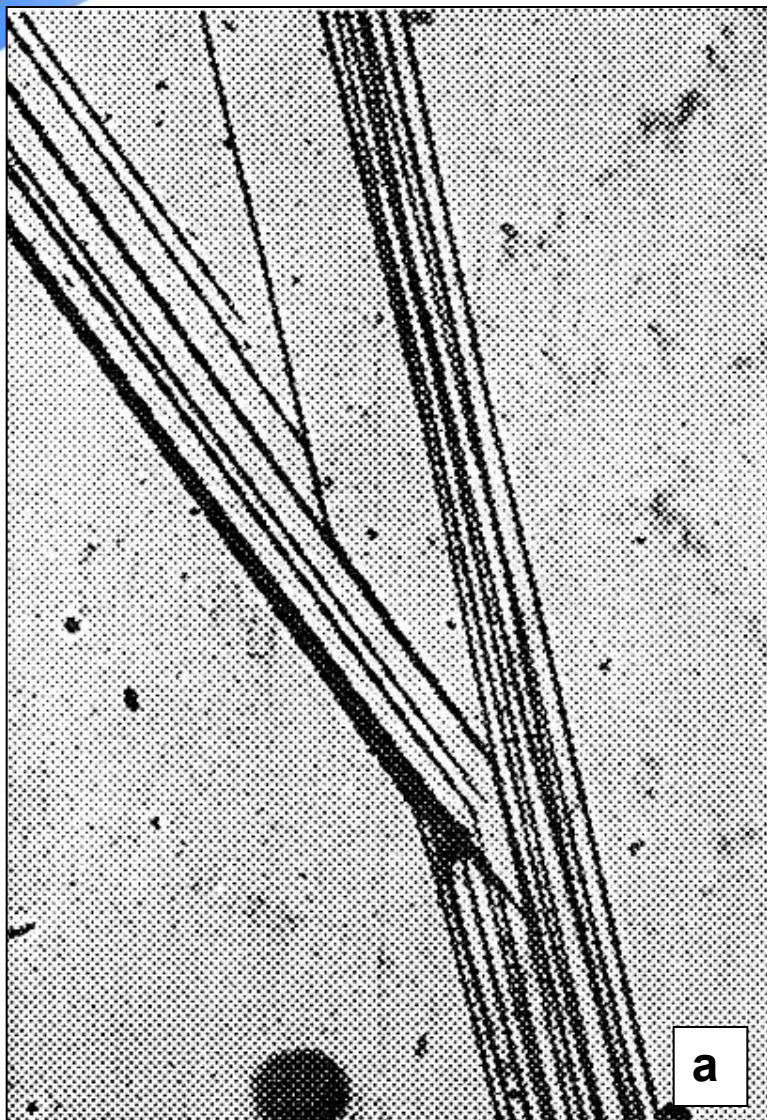


Микроструктура стали с линзовидным (игольчатым) мартенситом, x200

а – начало превращения
б – развитие превращения



Мартенситное превращение

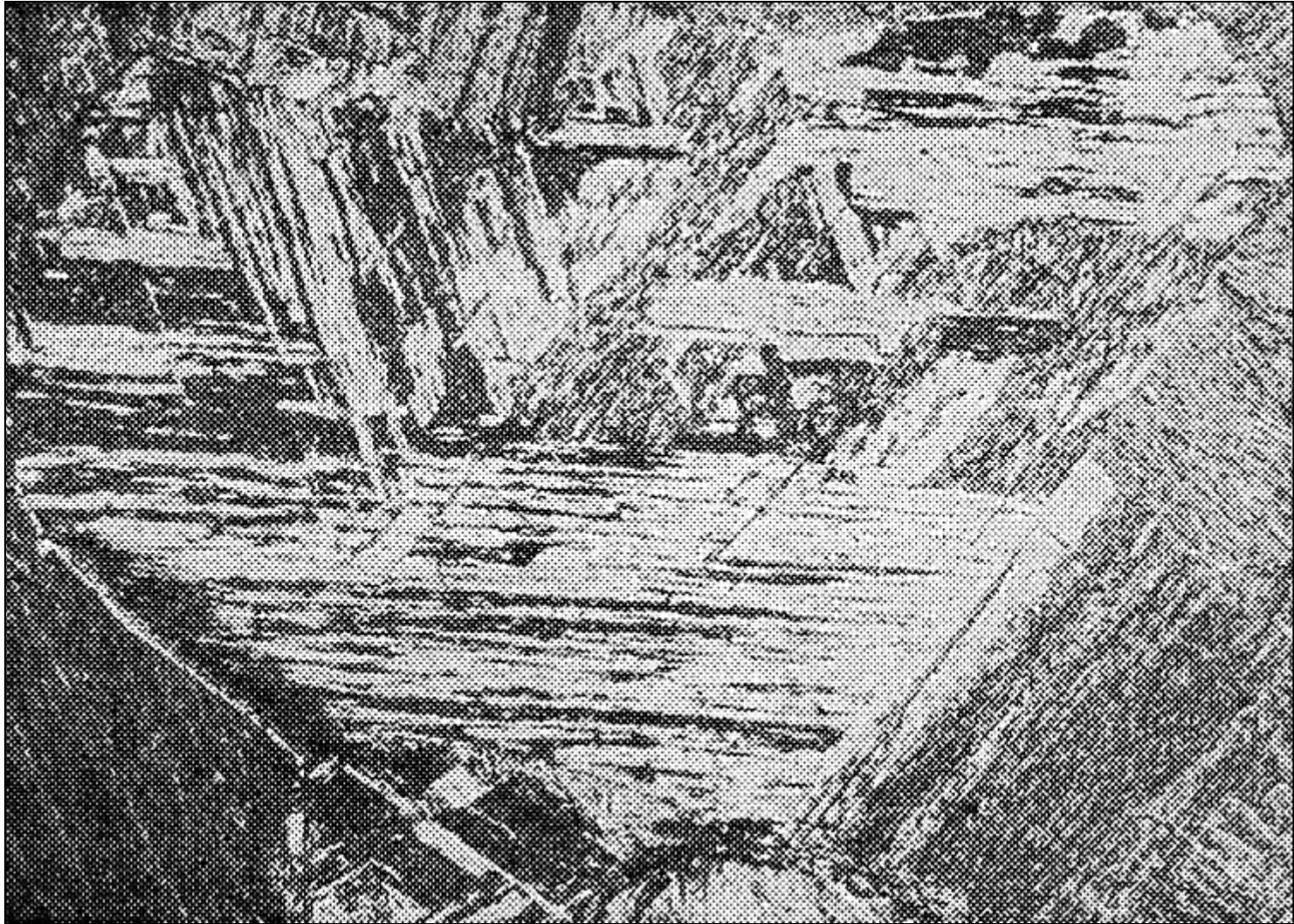


Микроструктура стали с пластинчатым мартенситом, x200

а – начало превращения
б – развитие превращения



Мартенситное превращение



Микроструктура стали с пакетным мартенситом, x100



Особенности мартенситного превращения

1. Мартенситное превращение бездиффузионное. Концентрация углерода в мартенсите такая же, как и в аустените
2. Для протекания мартенситного превращения требуются переохлаждения относительно M_n .
3. Для развития мартенситного превращения необходимо охлаждать сталь в мартенситном интервале.
4. Мартенситное превращение идет в интервале температур ($M_n - M_k$).
5. Для превращения характерно быстрое прекращение роста мартенситных кристаллов.
6. Механизм $A \rightarrow M$ носит сдвиговой характер. Атомы смещаются относительно друг друга на расстояние меньше межатомных, при этом соседи любого атома в аустените остаются его соседями в мартенсите.
7. Температура M_n не зависит от скорости охлаждения в широком диапазоне скоростей.
8. Время образования одного кристалла мартенсита менее 10^{-7} с, а скорость его роста более 10^3 см/с, т.е. близка к скорости звука в твердом теле и не зависит от температуры превращения. Высокая скорость роста связана с наличием когерентной границы между исходной и новой фазой.
9. Приложение внешних упругих напряжений или деформаций увеличивает количество образуемого мартенсита и повышает M_n .
10. Мартенситное превращение не идет до конца. Всегда имеется некоторое количество $A_{ост}$.
11. Точки M_n и M_k сильно зависят от состава стали; углерод сильно снижает M_n и M_k .

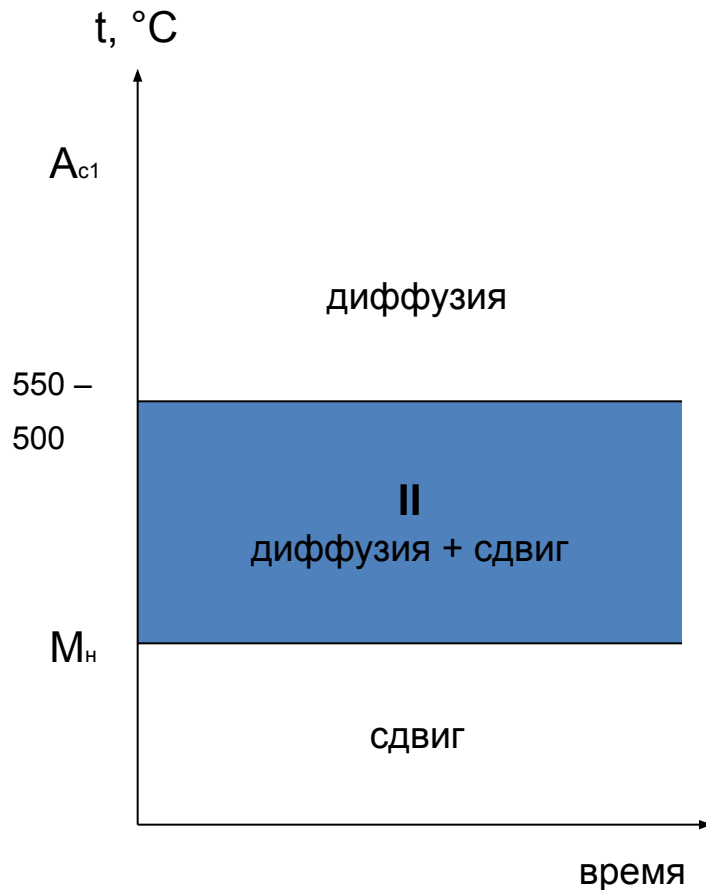


Бейнитное превращение

БЕЙНИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ

В температурном интервале бейнитного превращения диффузионная подвижность атомов Fe и л.э. подавлена – полиморфное превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ осуществляется по сдвиговому механизму. В то же время диффузионным путем возможно образование карбидной фазы.

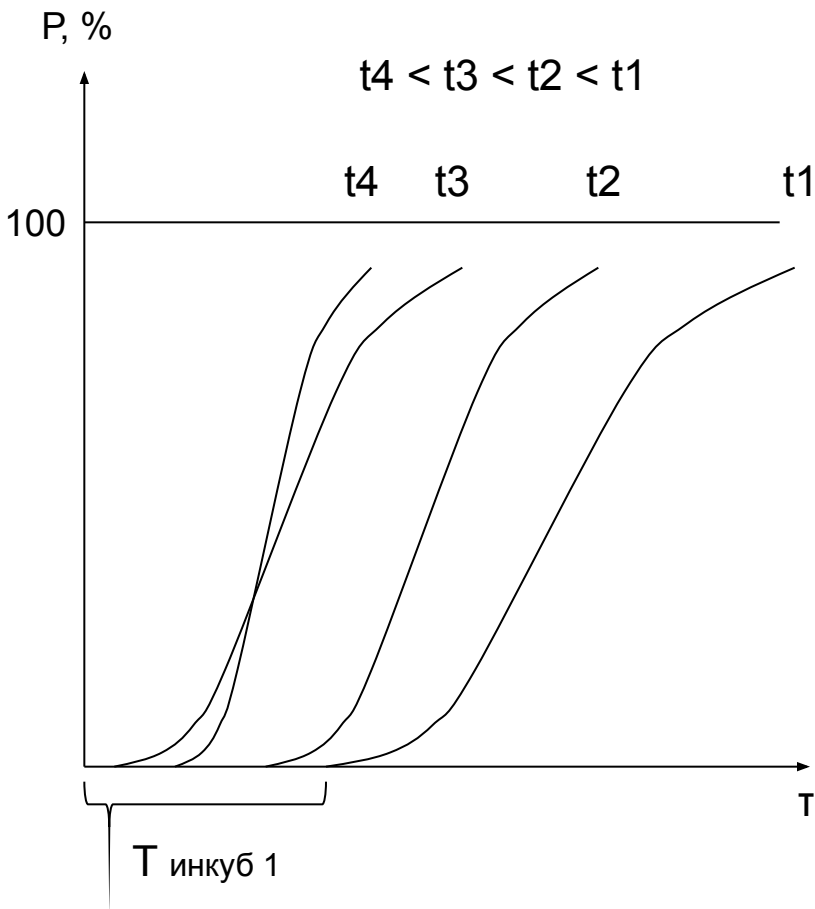
Таким образом, бейнит представляет собой смесь пересыщенной по углероду α фазы и карбидной фазы



II область: практически полное отсутствие диффузионной подвижности атомов Fe и л.э. при сохранении некоторой подвижности атомов C, превращение идет по смешанному диффузионно-сдвиговому механизму – **бейнитное превращение**

БЕЙНИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ

Кинетика бейнитного превращения



Кинетика бейнитного превращения имеет общие черты с перлитным и мартенситным превращениями. Как и перлит, бейнит – смесь α и карбидной фазы, началу распада предшествует инкубационный период, во время которого происходит диффузионное перераспределение атомов углерода.

Зависимость инкубационного периода от температуры такая же, как для перлитного превращения: с понижением температуры он сначала уменьшается (увеличивается термодинамический стимул), затем возрастает (уменьшается диффузионная подвижность атомов углерода).

БЕЙНИТНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ

Механизм бейнитного превращения

