

## → Углерод

Неметаллический элемент; атомный номер 6; плотность  $\rho_C = 2,5 \text{ г/см}^3$ ; атомный радиус  $R_C \cong 0,77 \text{ \AA}$ .

Углерод может находиться в нескольких аллотропических модификациях (алмаз, графит, лонсдейлит, карбин, фуллерены, углеродные нанотрубки, аморфный углерод).

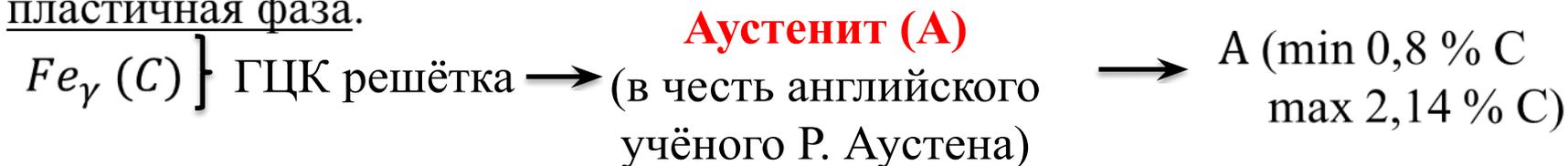
### Фазы:

→ Расплав (ненасыщенный жидкий раствор Fe и C): ж;

→ Твёрдые растворы внедрения



В феррите растворено очень мало углерода, эта фаза «практически чистое железо», а значит по свойствам близка к нему (предел прочности  $\sigma_B = 300 \text{ МПа}$ ; пластичность  $\delta = 40 \%$ ; твёрдость  $80 \text{ НВ}$ ), т.е. феррит – очень мягкая и пластичная фаза.



В аустените растворено больше углерода, поэтому он твёрже и прочнее, чем феррит (твёрдость  $160 \text{ НВ}$ ), при этом аустенит – это пластичная фаза (пластичность  $\delta = 25 \%$ ).

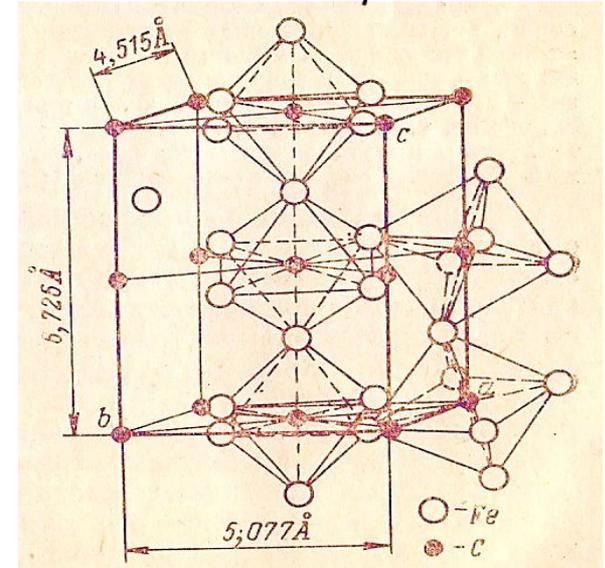
## ➔ Цементит (Ц)

Это промежуточная фаза – химическое соединение углерода с железом (карбид железа  $Fe_3C$ ). Появление цементита в сплавах Fe-C как высокоуглеродистой фазы происходит вследствие того, что растворимость углерода в  $Fe_\alpha$  или  $Fe_\gamma$  мала.

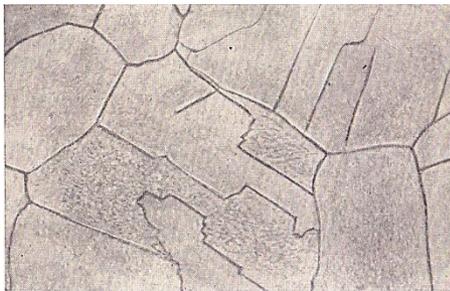
Имеет ромбическую решётку.

Цементит имеет узкую область гомогенности – 6,67 – 6,69 % C. На диаграмме состояния может указываться узкой областью, а может и прямой линией.

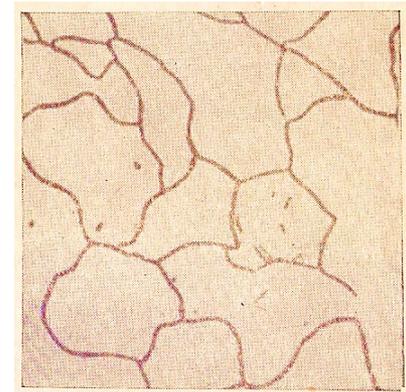
Цементит – очень твёрдая, твёрдость ~ 800 НВ (легко царапает стекло), и чрезвычайно хрупкая фаза.  
При температуре ниже 210 °C слабо ферромагнетен.



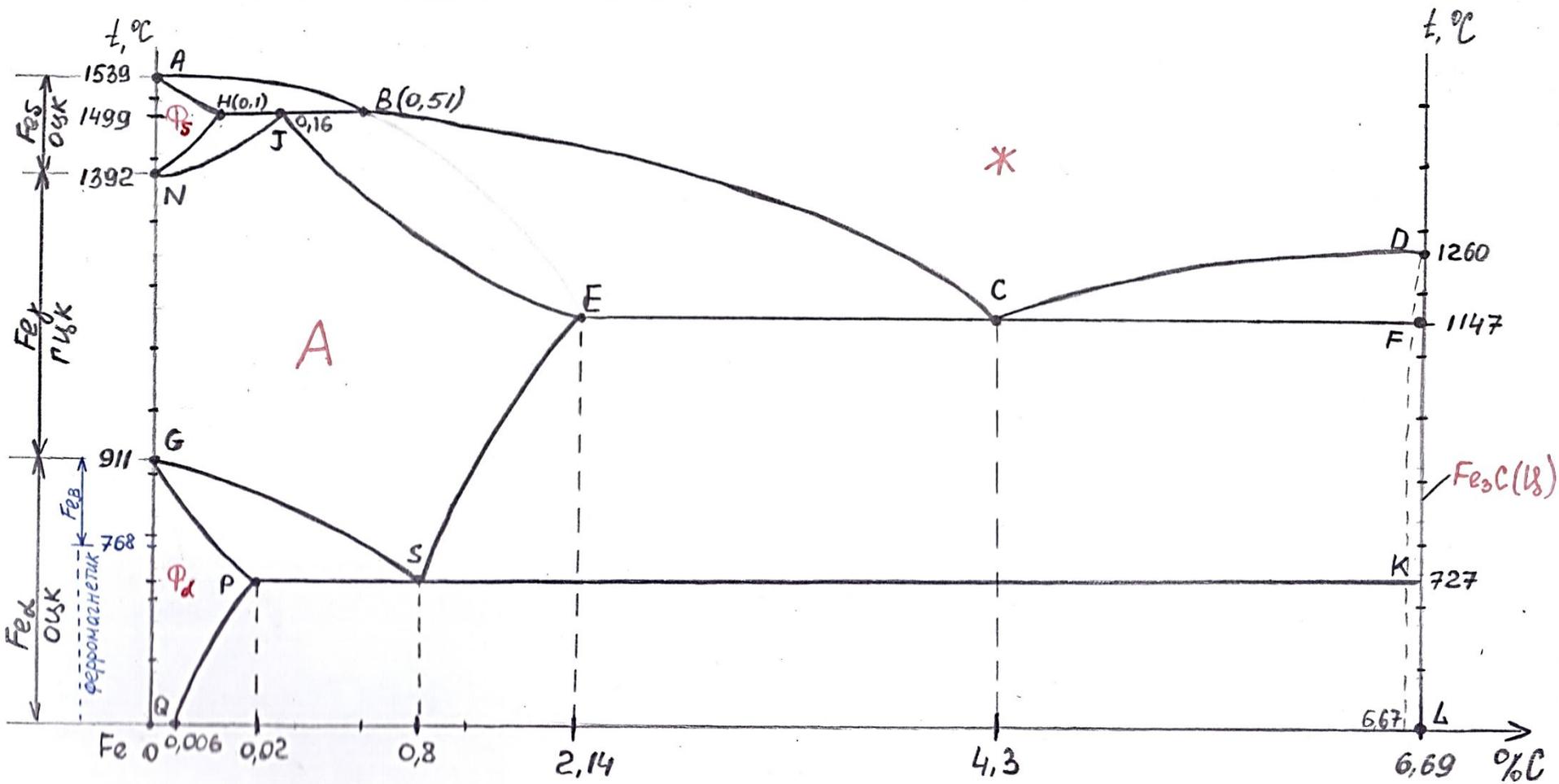
Микроструктуры:



аустенита, при травлении при высоких температурах, x500



феррита в техническом железе, x450

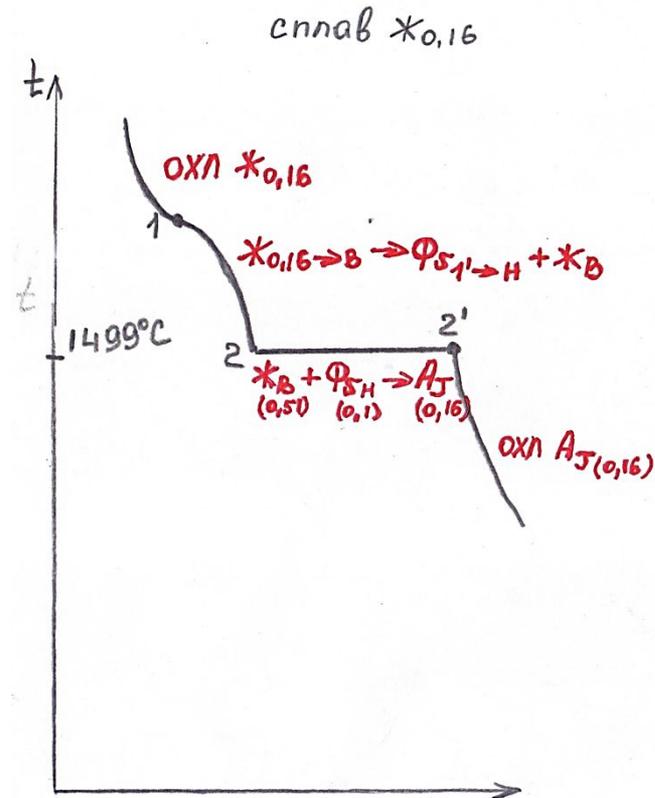
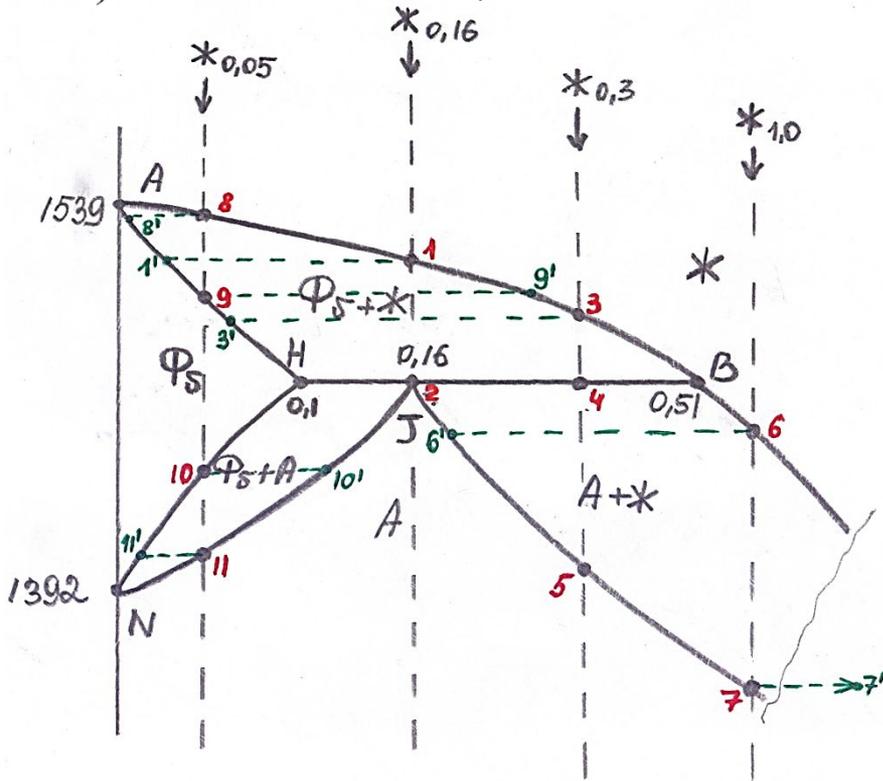




# Структурный анализ

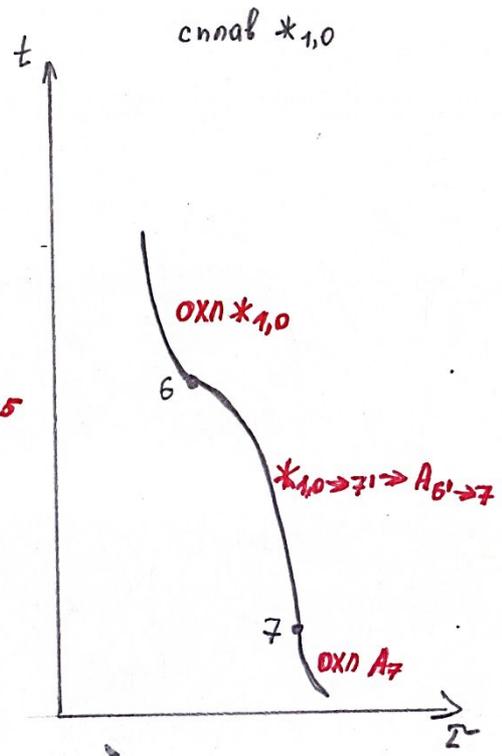
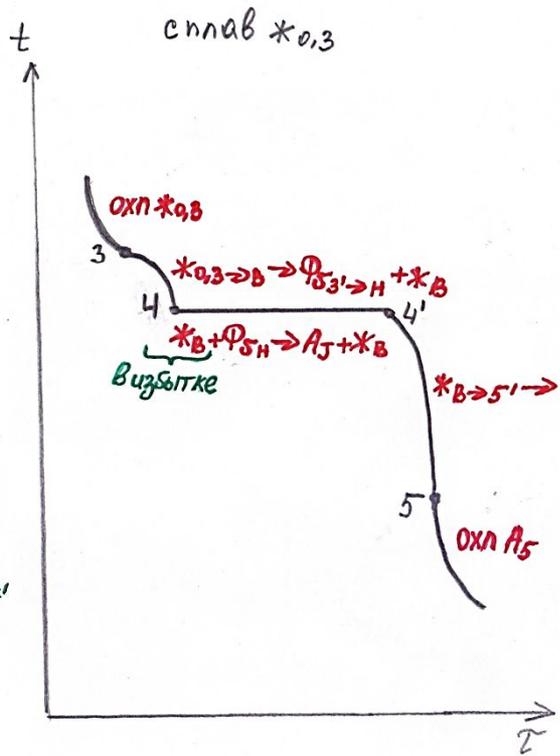
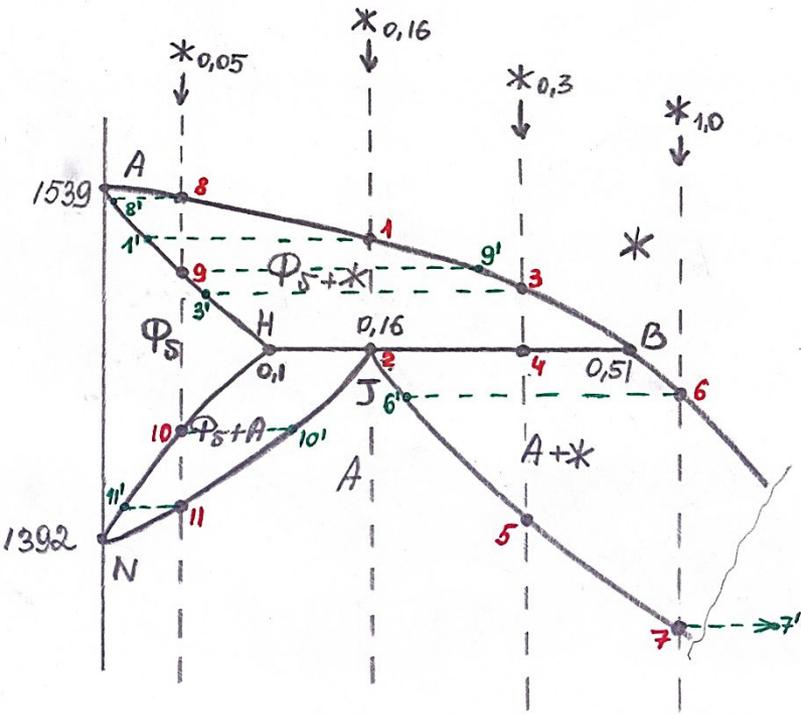
Рассмотрим превращения при кристаллизации расплавов в зависимости от содержания углерода:

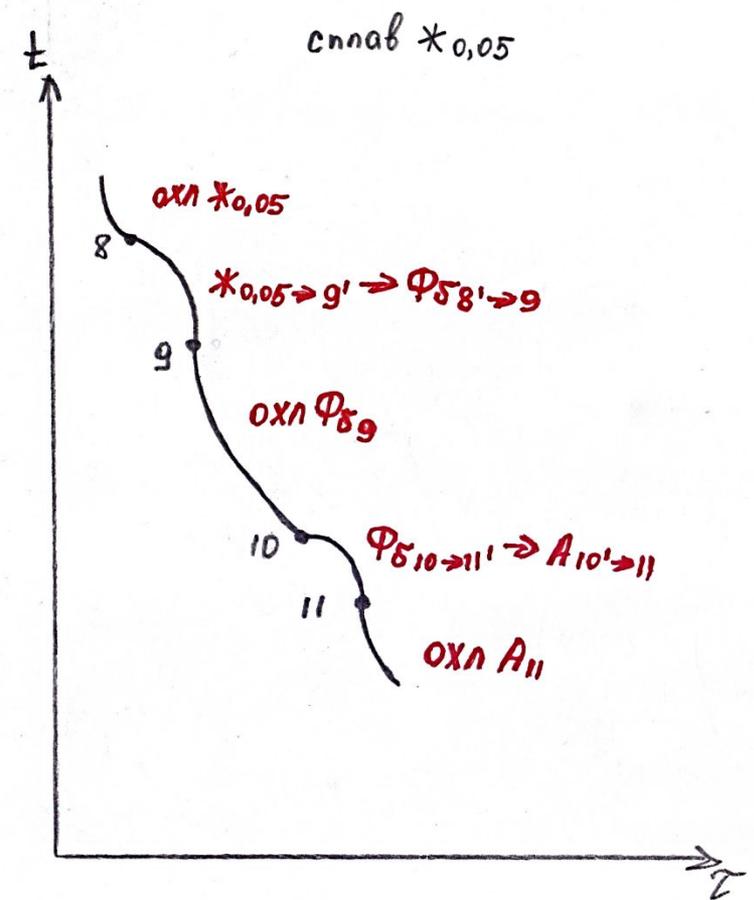
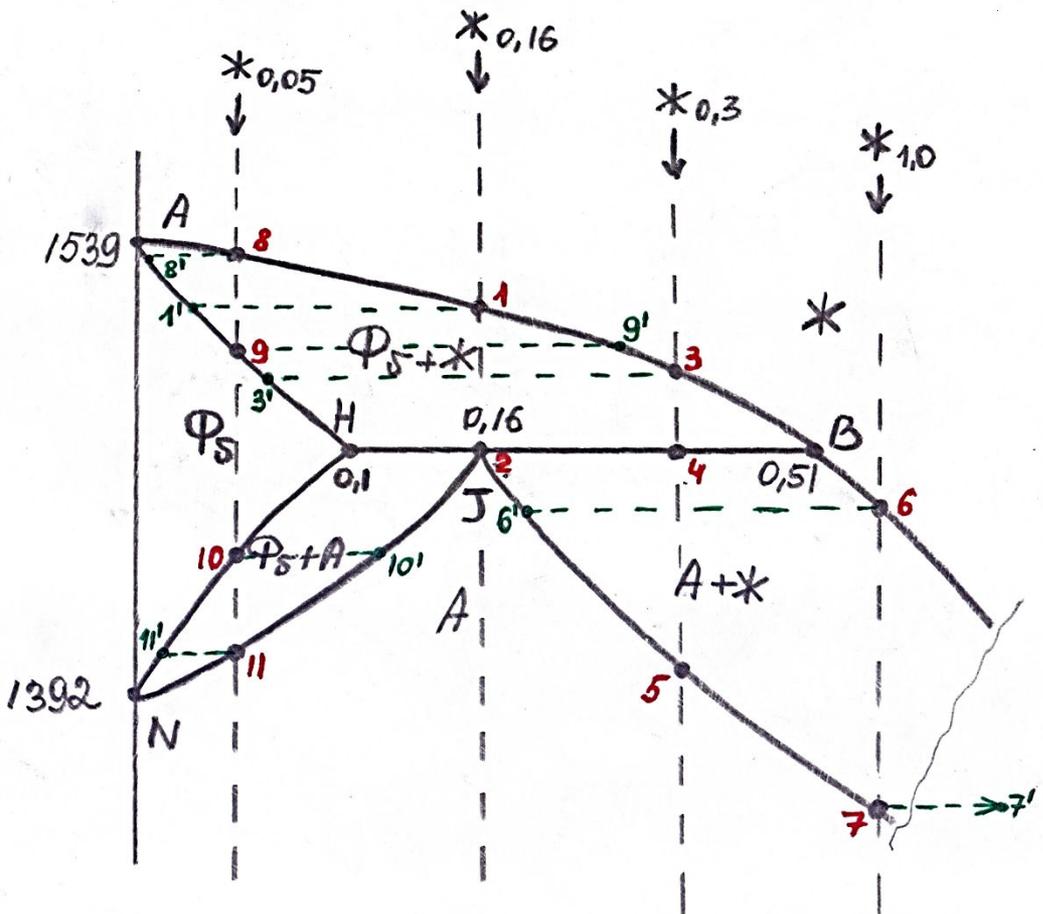
## 1) Сплавы с $0 \div 2,14\% \text{ C}$



При достижении линии  $HJB$  ( $1499\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) сплав  $ж_{0,16}$  претерпевает безвариантное превращение ( $C = K - \Phi + 1 = 2 - 3 + 1 = 0$ ), оно перетектическое:  $ж_B + \Phi_{\delta_H} \rightarrow A_J$   
 При этом превращение идёт при строго определённом соотношении фаз:

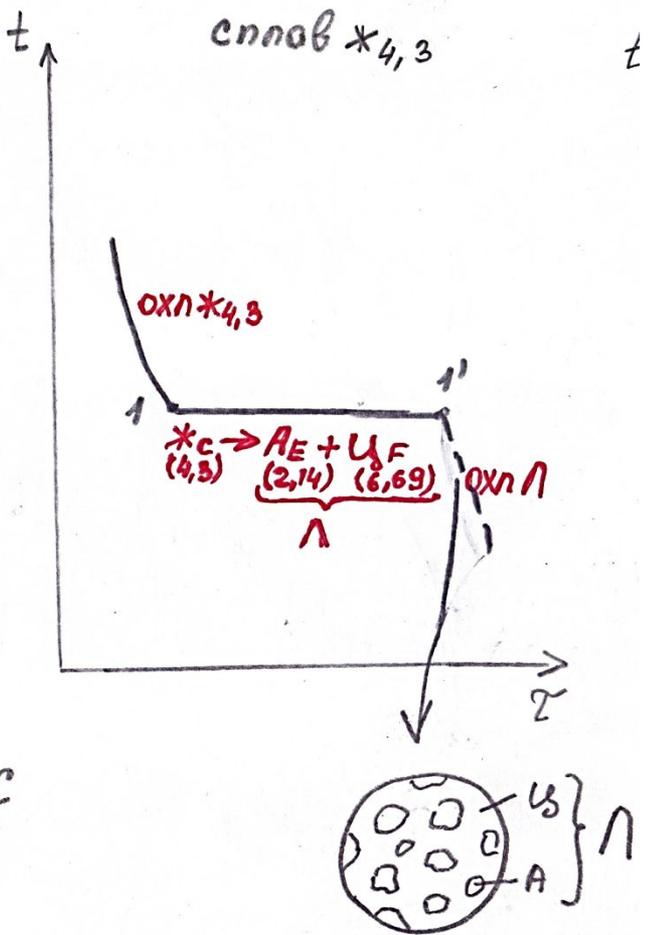
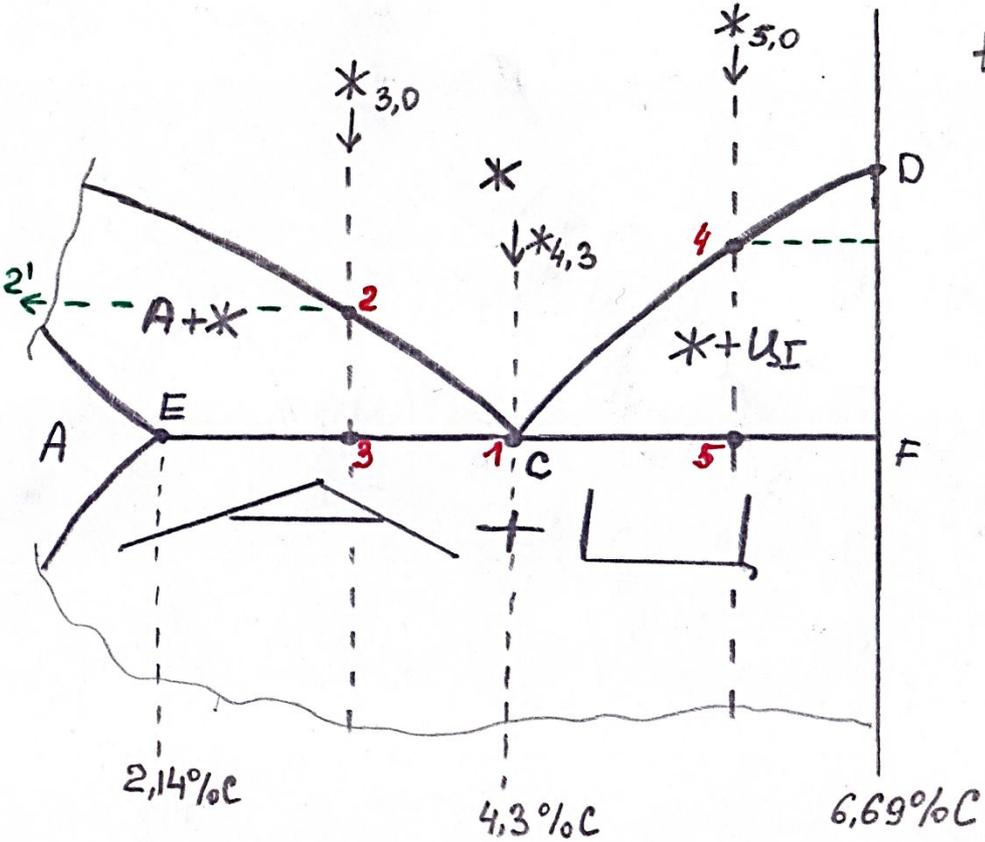
$$\frac{ж}{\Phi_{\delta}} = \frac{HJ}{JB} = \frac{0,35}{0,06} = \frac{6}{1} \quad ; \text{ при нарушении пропорции одна из фаз остаётся в избытке.}$$





Итог: в сплавах с  $0 \div 2,14\%$  C после кристаллизации в конечном итоге образуется **только одна фаза – аустенит**.

2) Сплавы с  $2,14 \div 6,69\%$  C



При достижении линии ECF ( $1147\text{ }^\circ\text{C}$ ) сплав  $\text{ж}_{4,3}$  претерпевает безвариантное превращение ( $C = K - \Phi + 1 = 2 - 3 + 1 = 0$ ), оно **эвтектическое**:

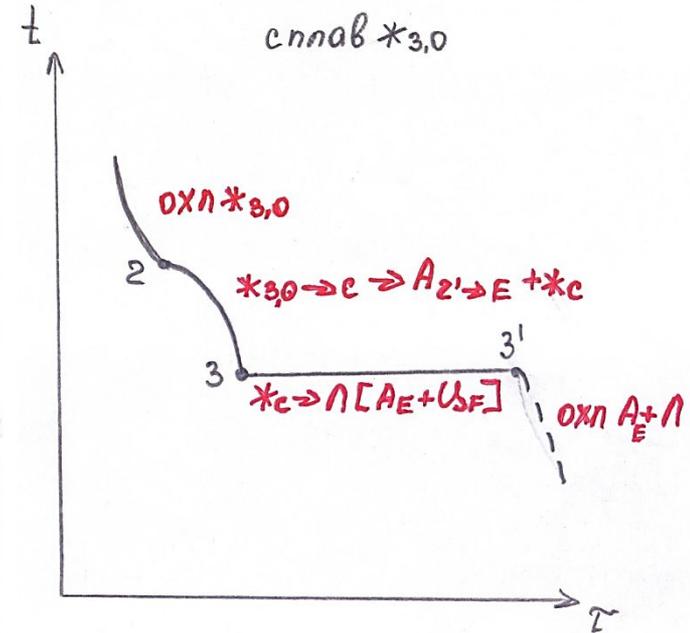
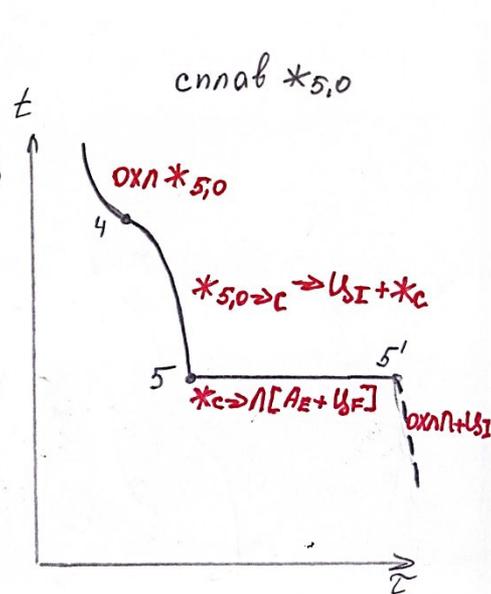
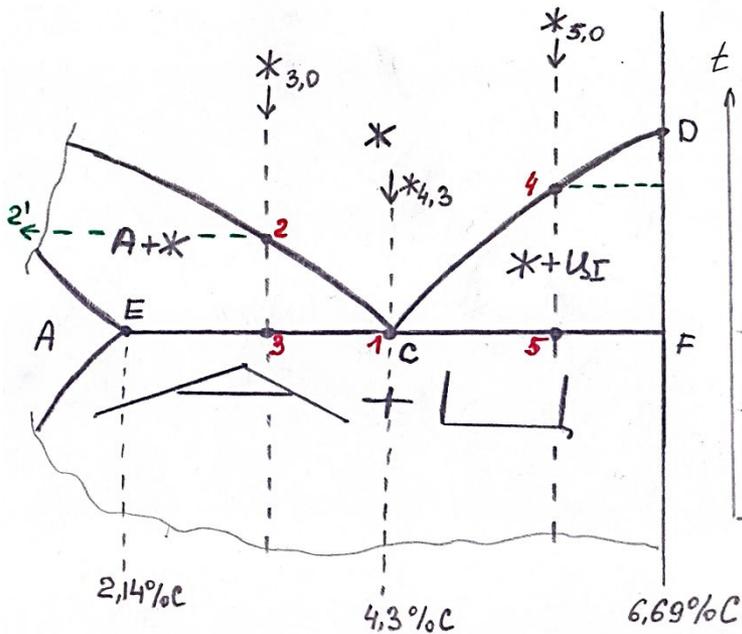


эвтектика  $[A_E + \text{Ц}_F]$  называется **ледебуритом** (в честь немецкого учёного К. Ледебура);

$\text{ж}_c \rightarrow \text{Л} [A_E + \text{Ц}_F]$

$$\frac{A}{\text{Ц}} = \frac{CF}{EC} = \frac{2,39}{2,16} \cong \frac{50}{50} \%$$

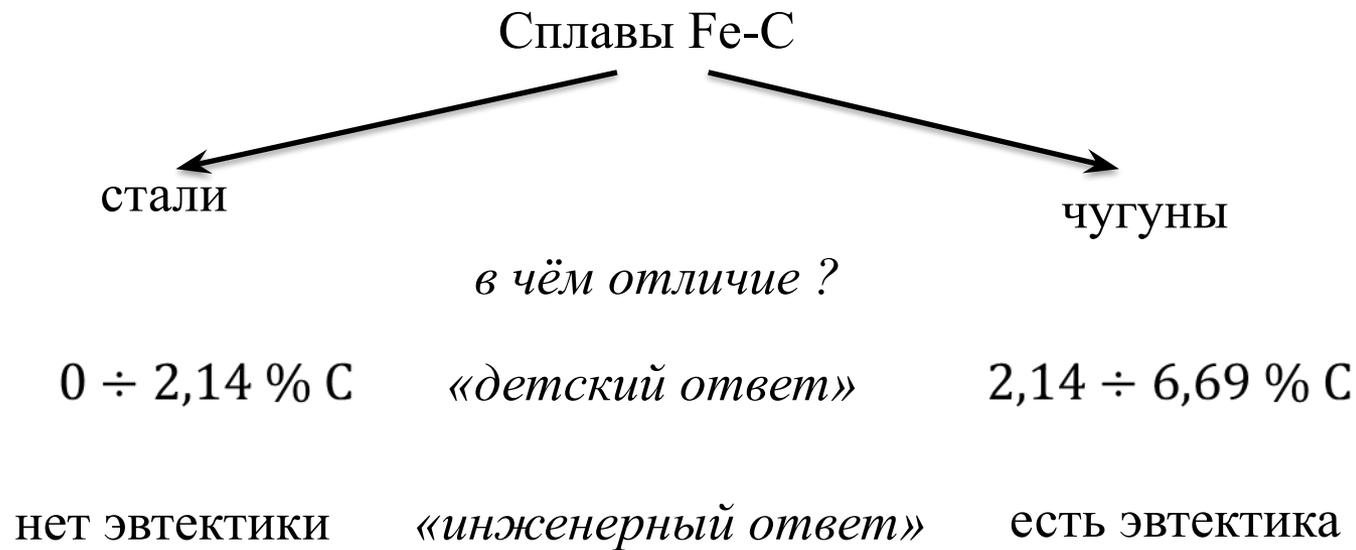
**Ледебурит** – крайне хрупкая структурная составляющая (твёрдость  $\sim 600$  НВ), т.к. содержит  $\sim 50\%$  цементита, и цементит в ледебурите – основа.



Цементит, выделяющийся из жидкости называют первичным и обозначают как  $\text{Ц}_I$ .

Итог: в сплавах с  $2,14 \div 6,69$  % С после кристаллизации в конечном итоге структура состоит из двух составляющих – аустенита (или первичного цементита) и хрупкого ледебурита.

Различие в структуре после кристаллизации создаёт существенное различие как в технологических, так и в механических свойствах сплавов. Отсутствие эвтектики делает сплав ковким, а наличие эвтектики – хрупким (но при этом за счёт низкой  $t_{\text{плавл}}$  сплав легче льётся).

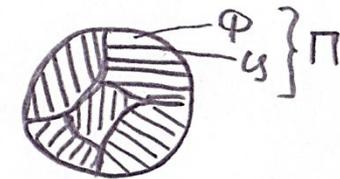
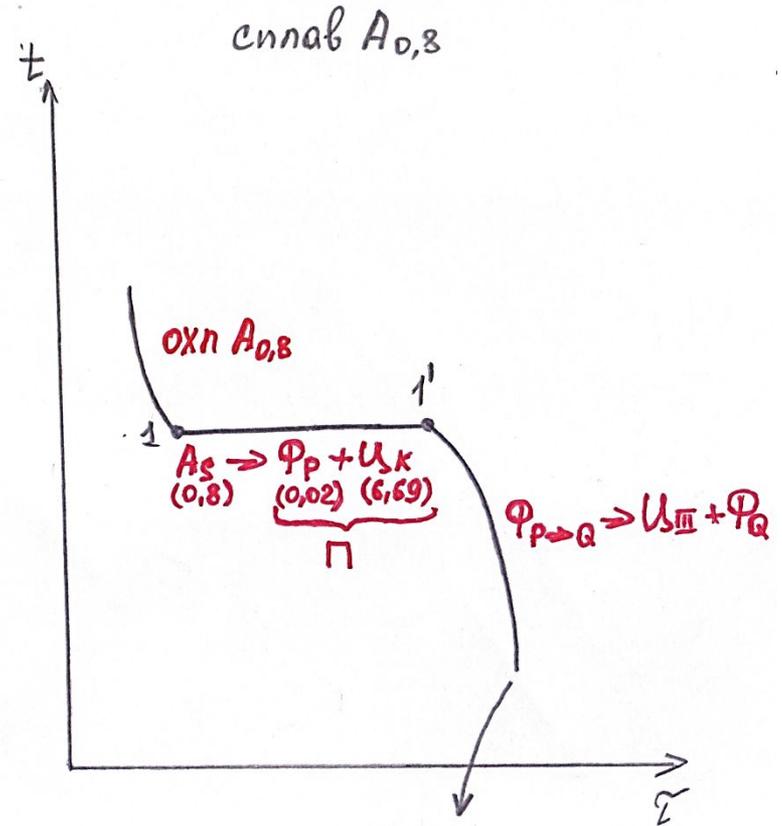
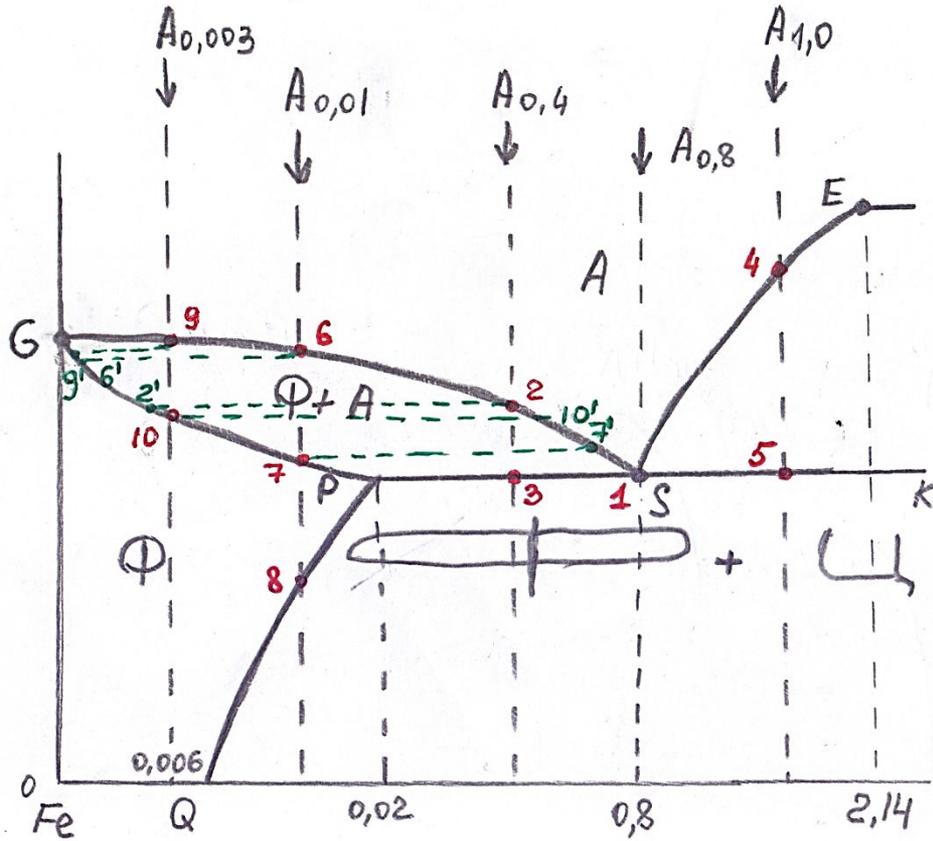


*А ещё точнее ответ? □ Нужно рассмотреть структуры сплавов при комнатной температуре*



Рассмотрим превращения сплавов в твёрдом состоянии (вторичная кристаллизация) в зависимости от содержания углерода:

1) Сплавы с  $0 \div 2,14 \% \text{ C}$



При достижении линии PSK ( $727^\circ \text{C}$ ) сплав  $A_{0,8}$  претерпевает безвариантное превращение ( $C = K - \Phi + 1 = 2 - 3 + 1 = 0$ ), оно эвтектоидное: