

→ 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).

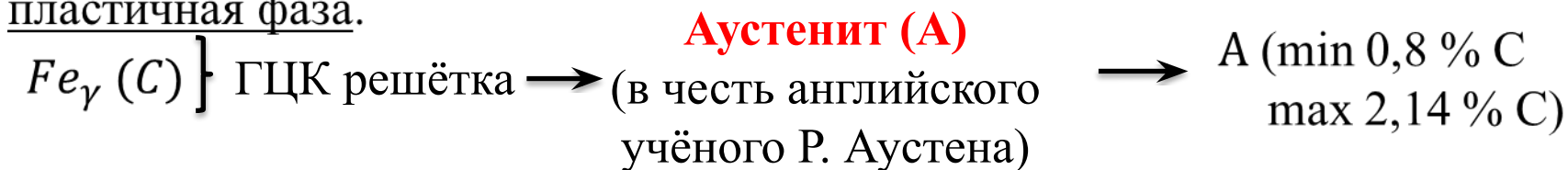
Фазы:

→ 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 НВ), т.е. феррит – очень мягкая и пластичная фаза.



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

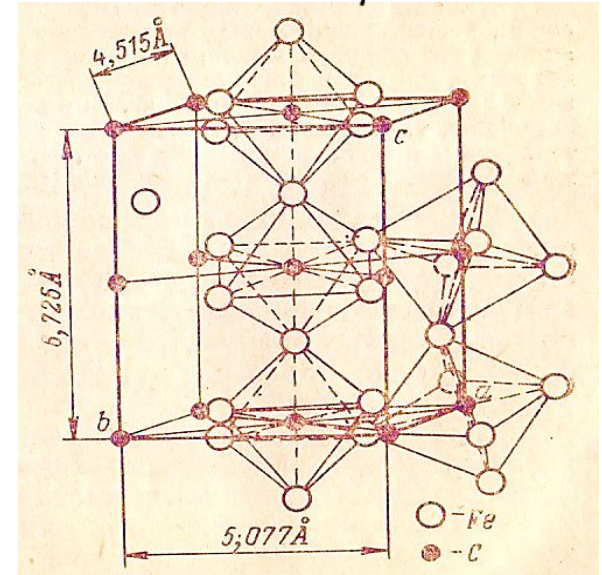
➔ Цементит (Ц)

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_α или Fe_γ мала.

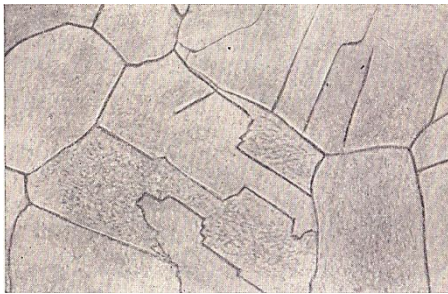
Имеет ромбическую решётку.

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

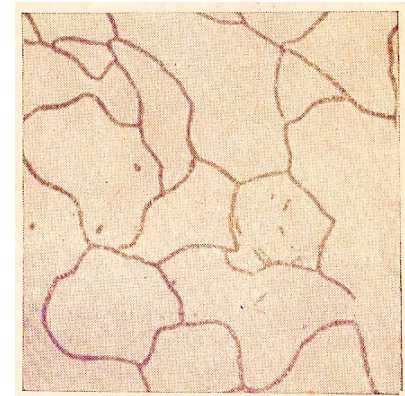
Цементит – очень твёрдая, твёрдость ~ 800 НВ (легко царапает стекло), и чрезвычайно хрупкая фаза.
При температуре ниже 210 °C слабо ферромагнетен.



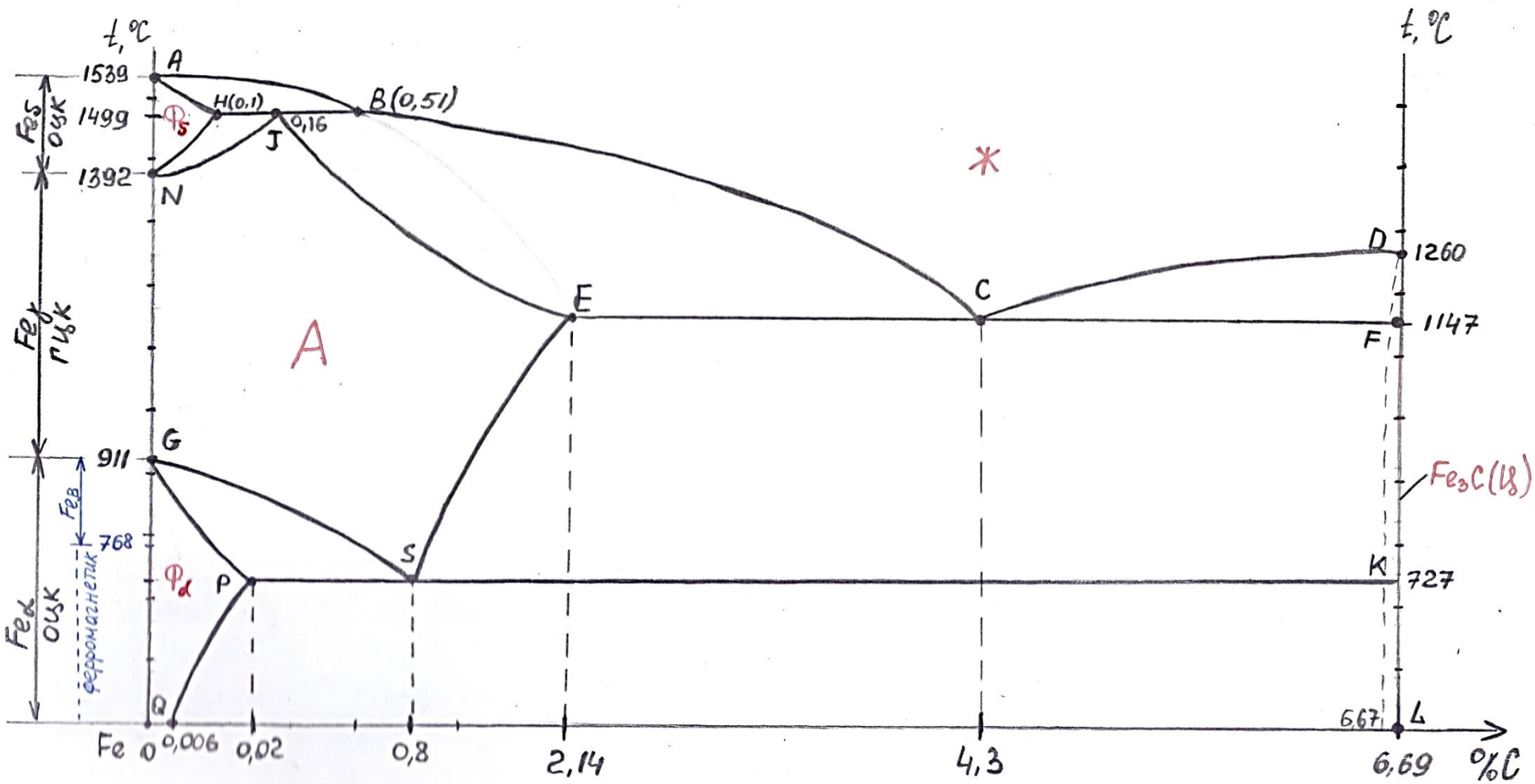
Микроструктуры:



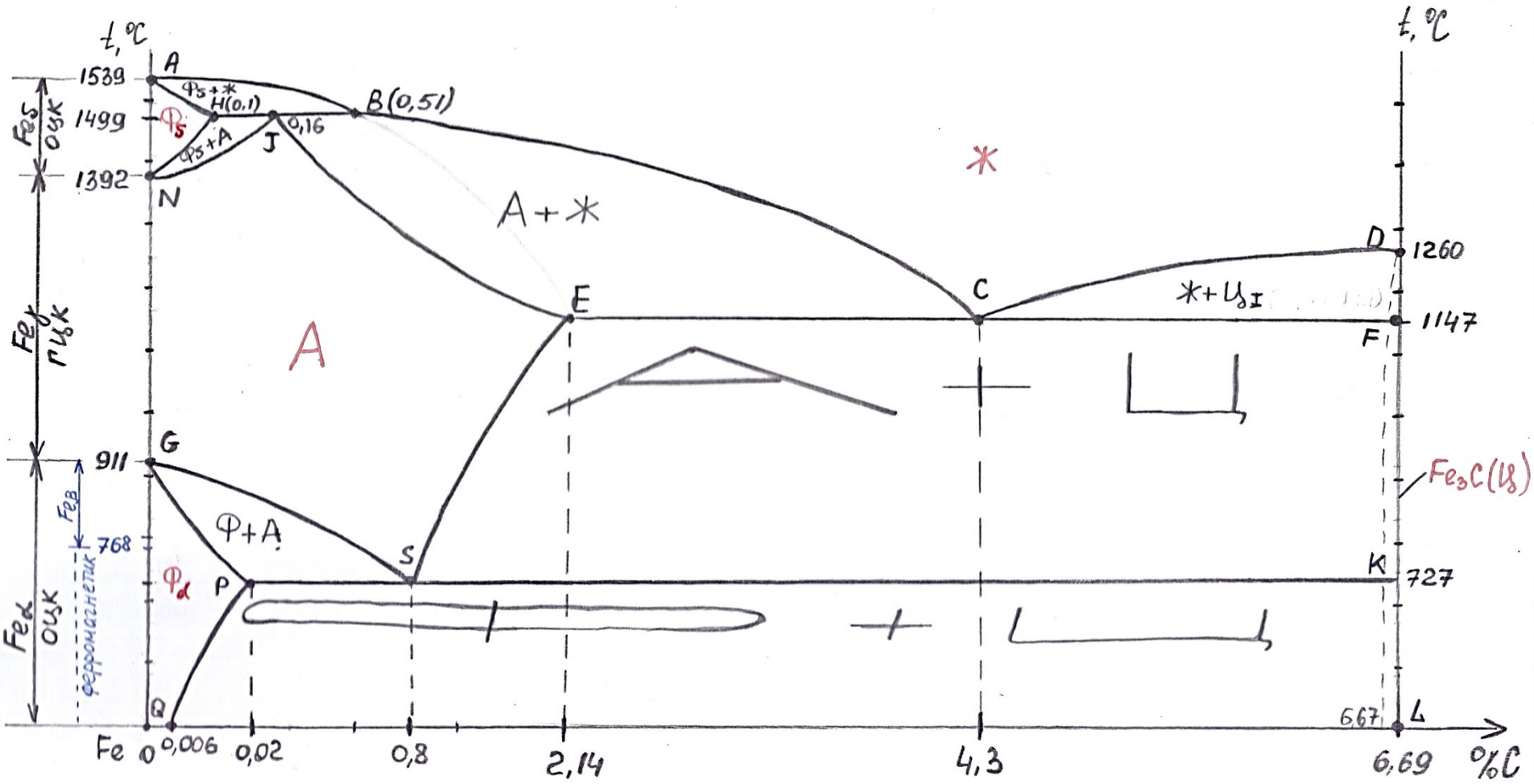
аустенита, при травлении при высоких температурах, x500



феррита в техническом железе, x450



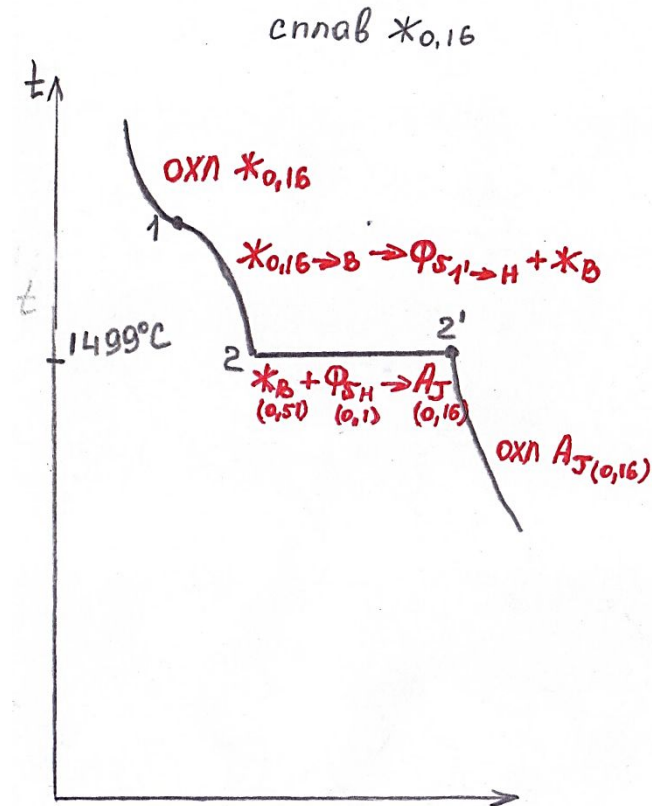
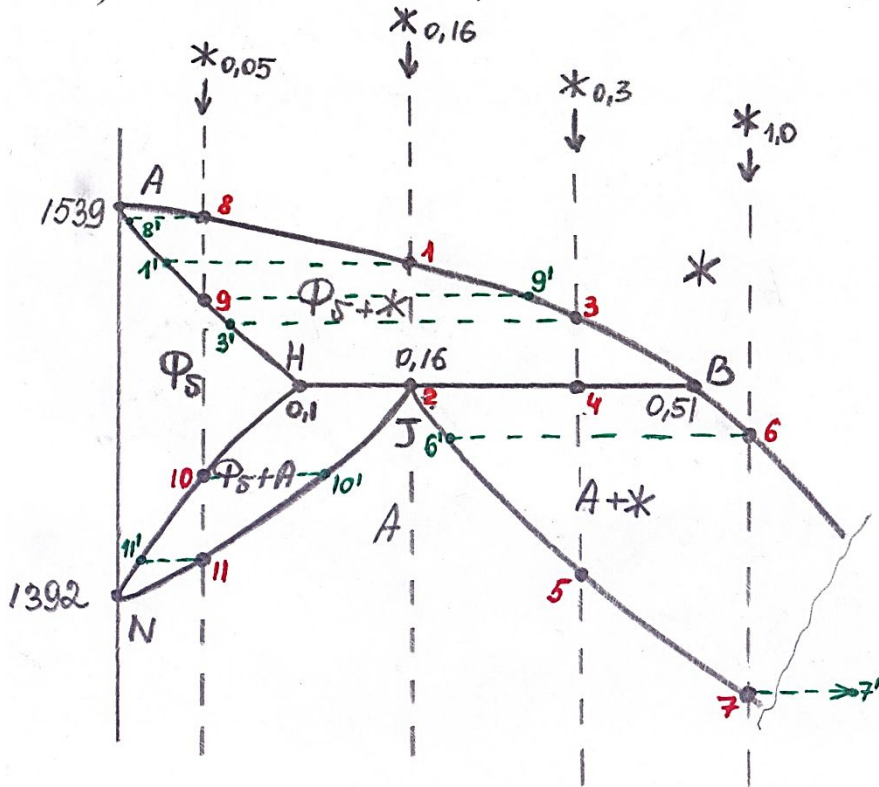
Фазовый анализ



Структурный анализ

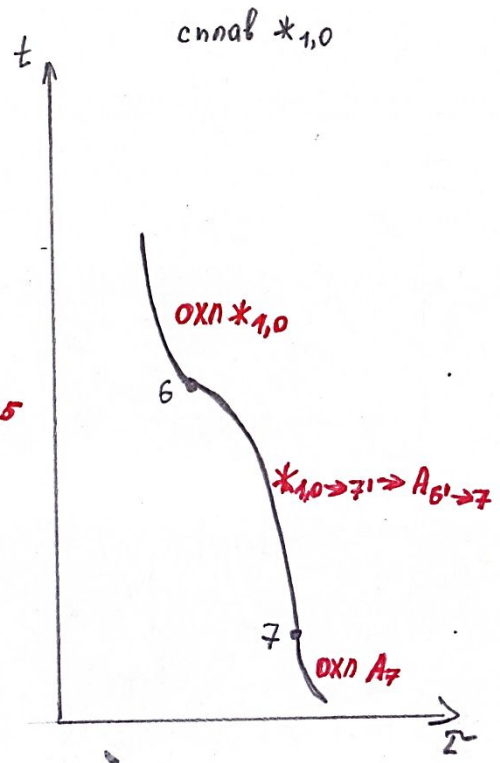
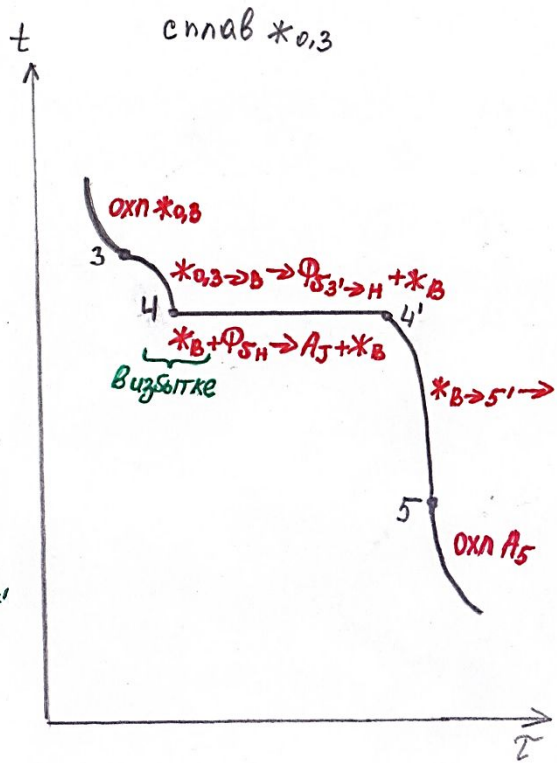
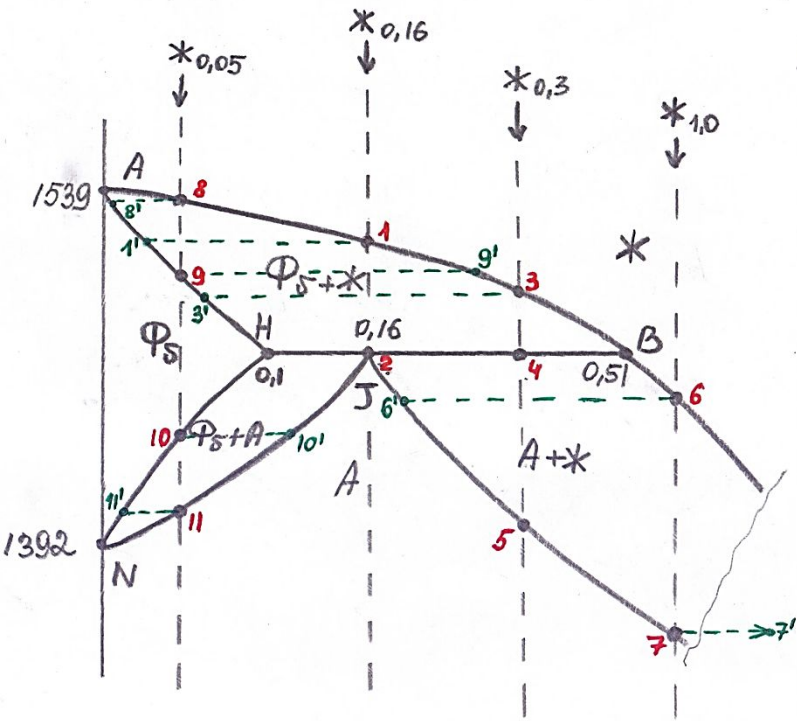
Рассмотрим превращения при кристаллизации расплавов в зависимости от содержания углерода:

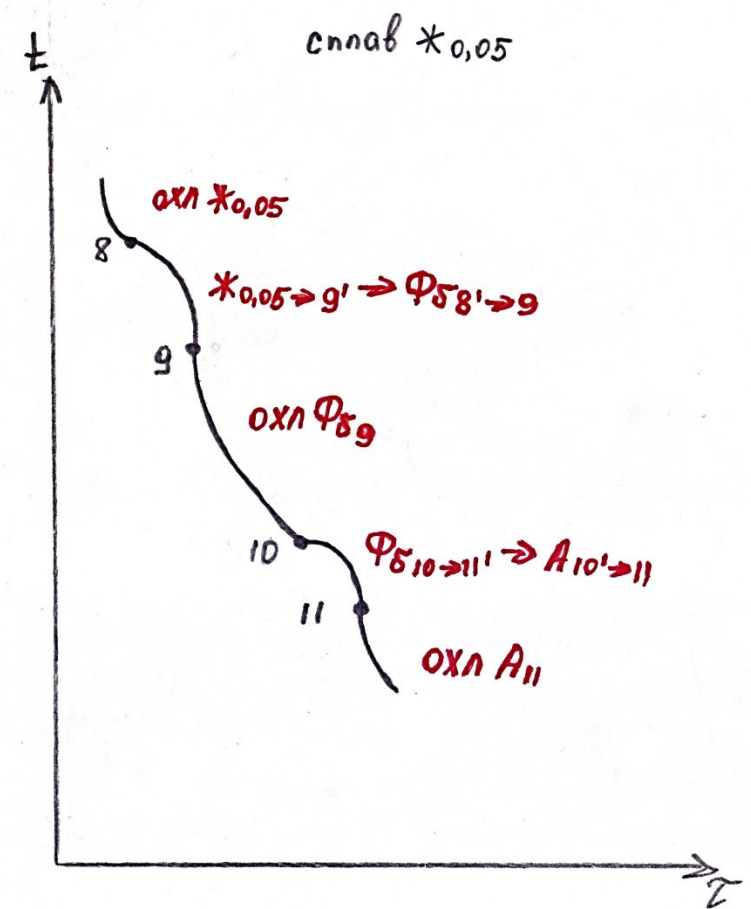
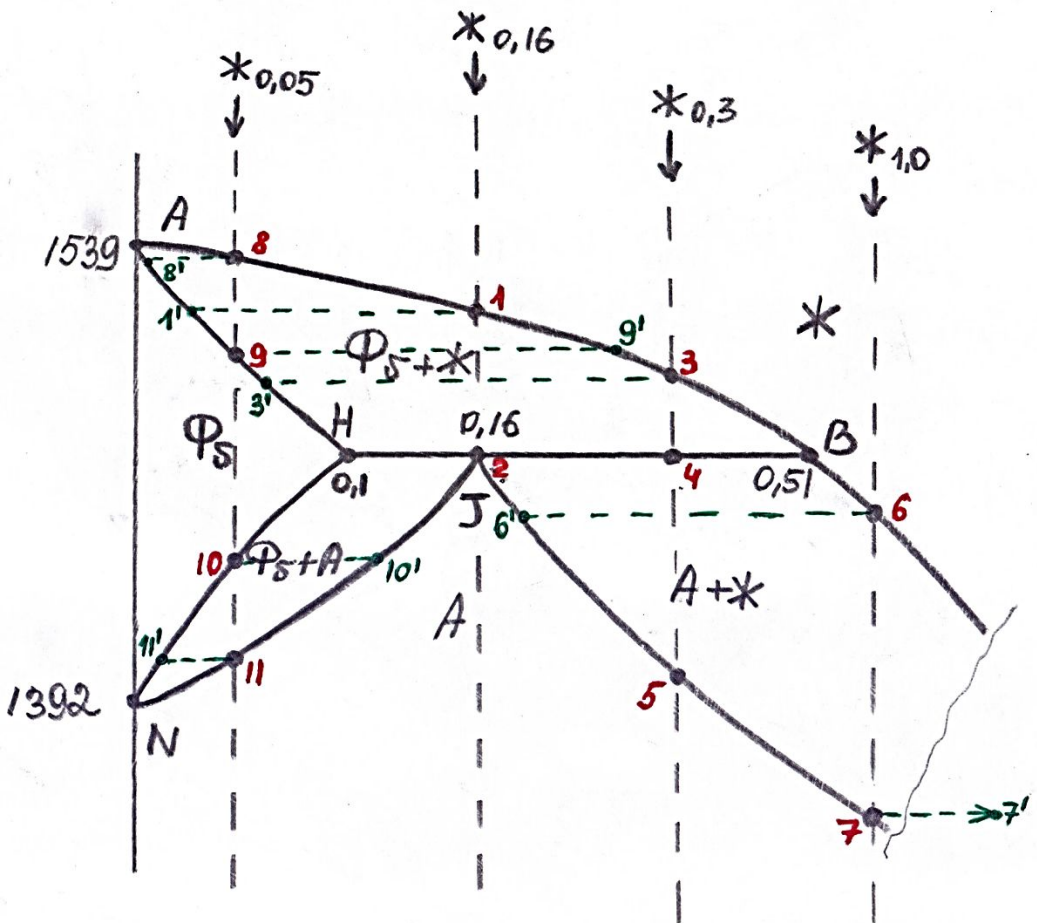
1) Сплавы с $0 \div 2,14\% \text{ C}$



При достижении линии HJB (1499°C) сплав $\text{Ж}_{0,16}$ претерпевает безвариантное превращение ($C = K - \Phi + 1 = 2 - 3 + 1 = 0$), оно перетектическое: $\text{Ж}_\text{B} + \text{Ф}_{\delta, \text{H}} \rightarrow \text{A}_\text{J}$
 При этом превращение идёт при строго определённом соотношении фаз:

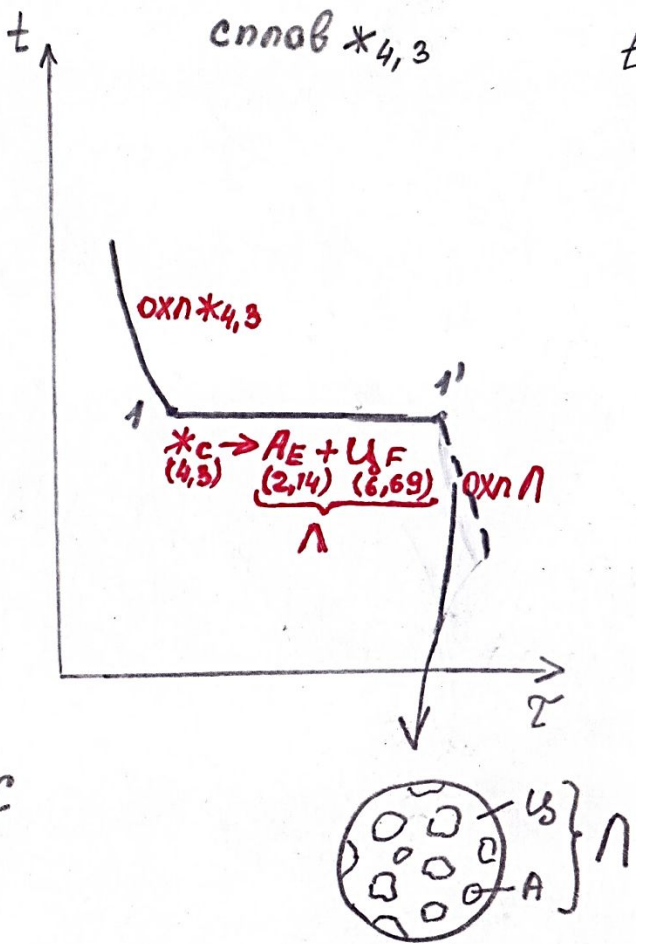
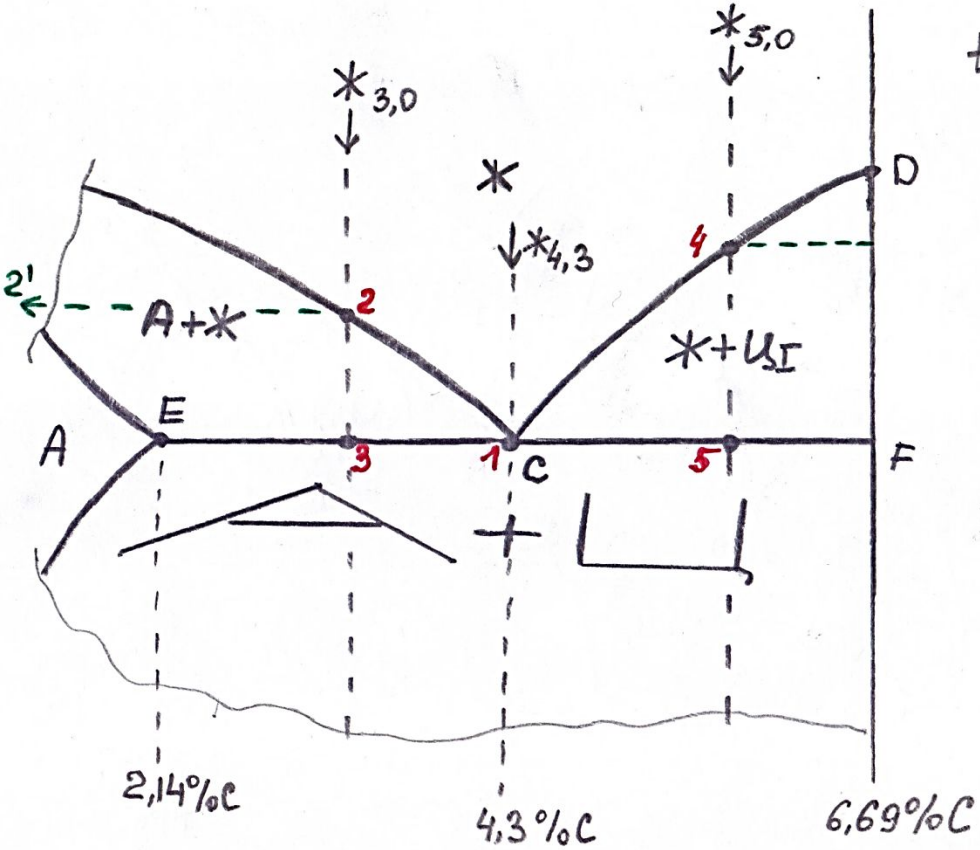
$$\frac{\text{Ж}}{\text{Ф}_\delta} = \frac{\text{HJ}}{\text{JB}} = \frac{0,35}{0,06} = \frac{6}{1} \quad ; \text{ при нарушении пропорции одна из фаз остаётся в избытке.}$$





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**:

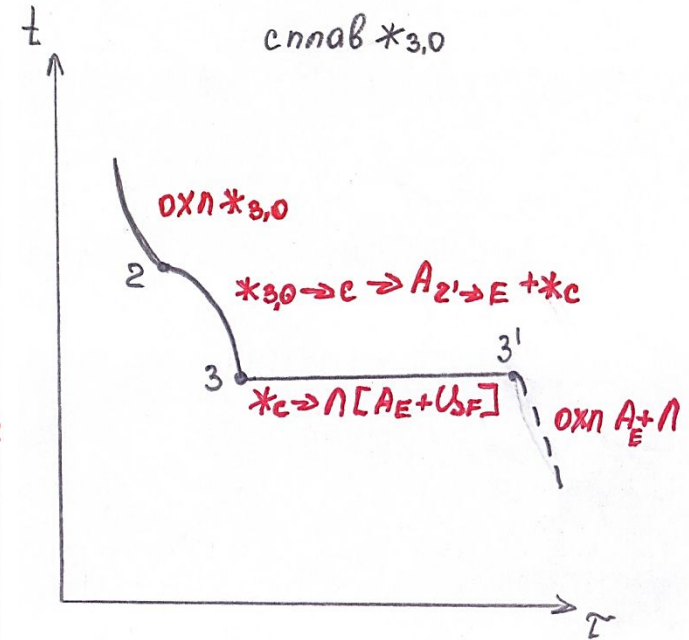
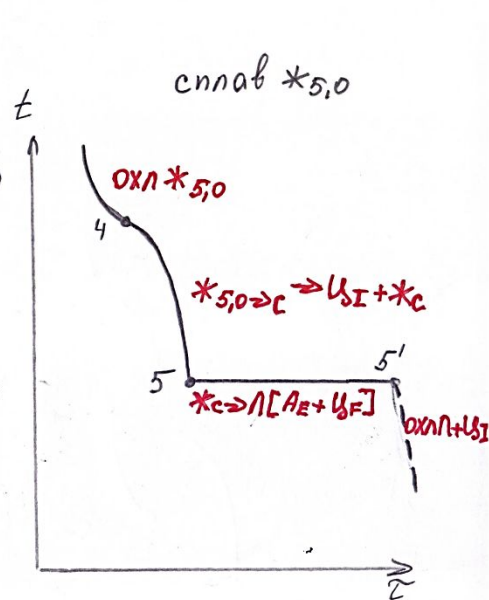
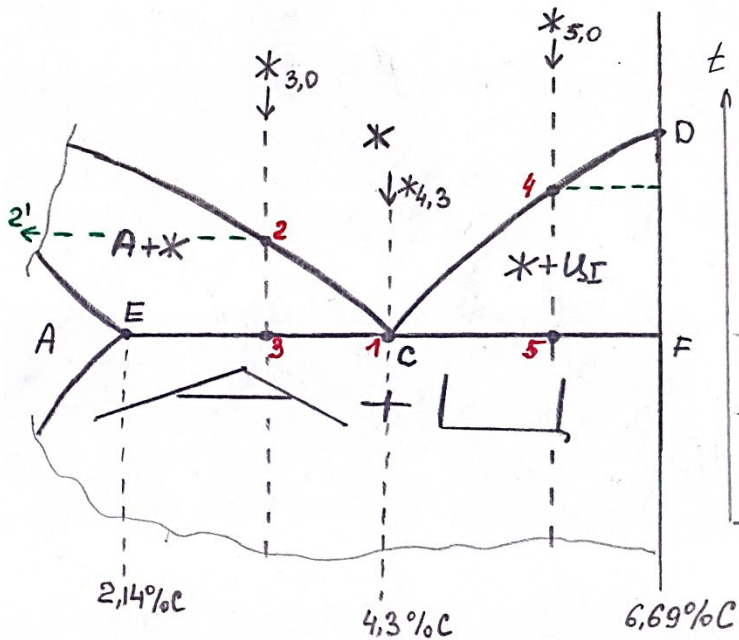


эвтектика $[A_E + \text{Ц}_F]$ называется **ледебуритом** (в честь немецкого учёного К. Ледебура);

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

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

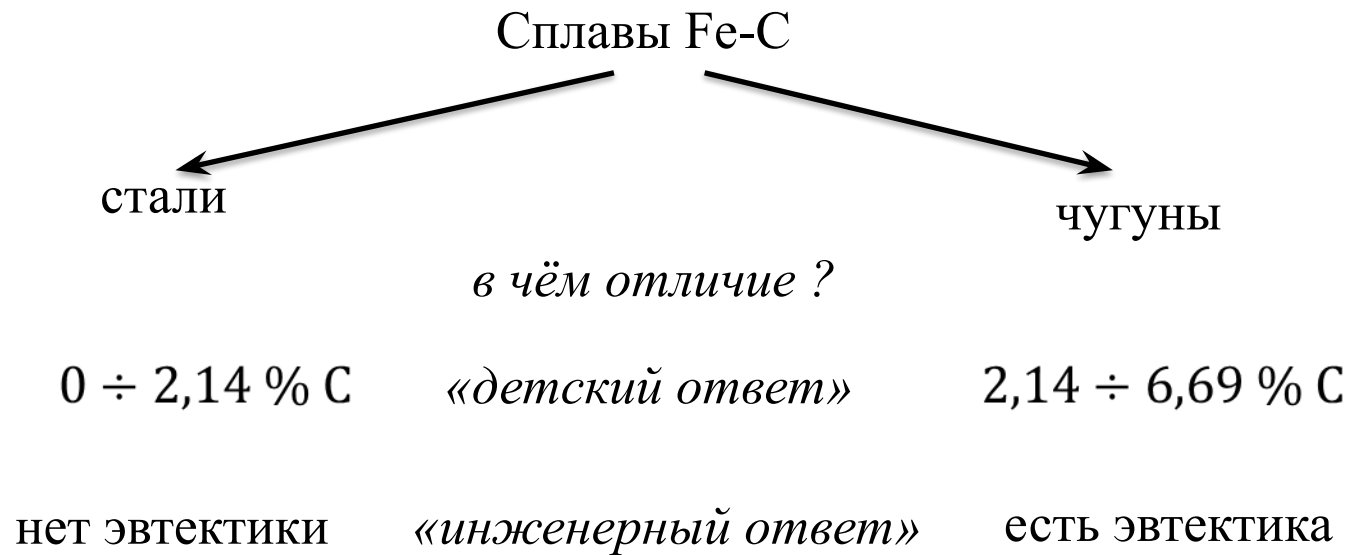
Ледебурит – крайне хрупкая структурная составляющая (твёрдость ~ 600 НВ), т.к. содержит $\sim 50\%$ цементита, и цементит в ледебурите – основа.



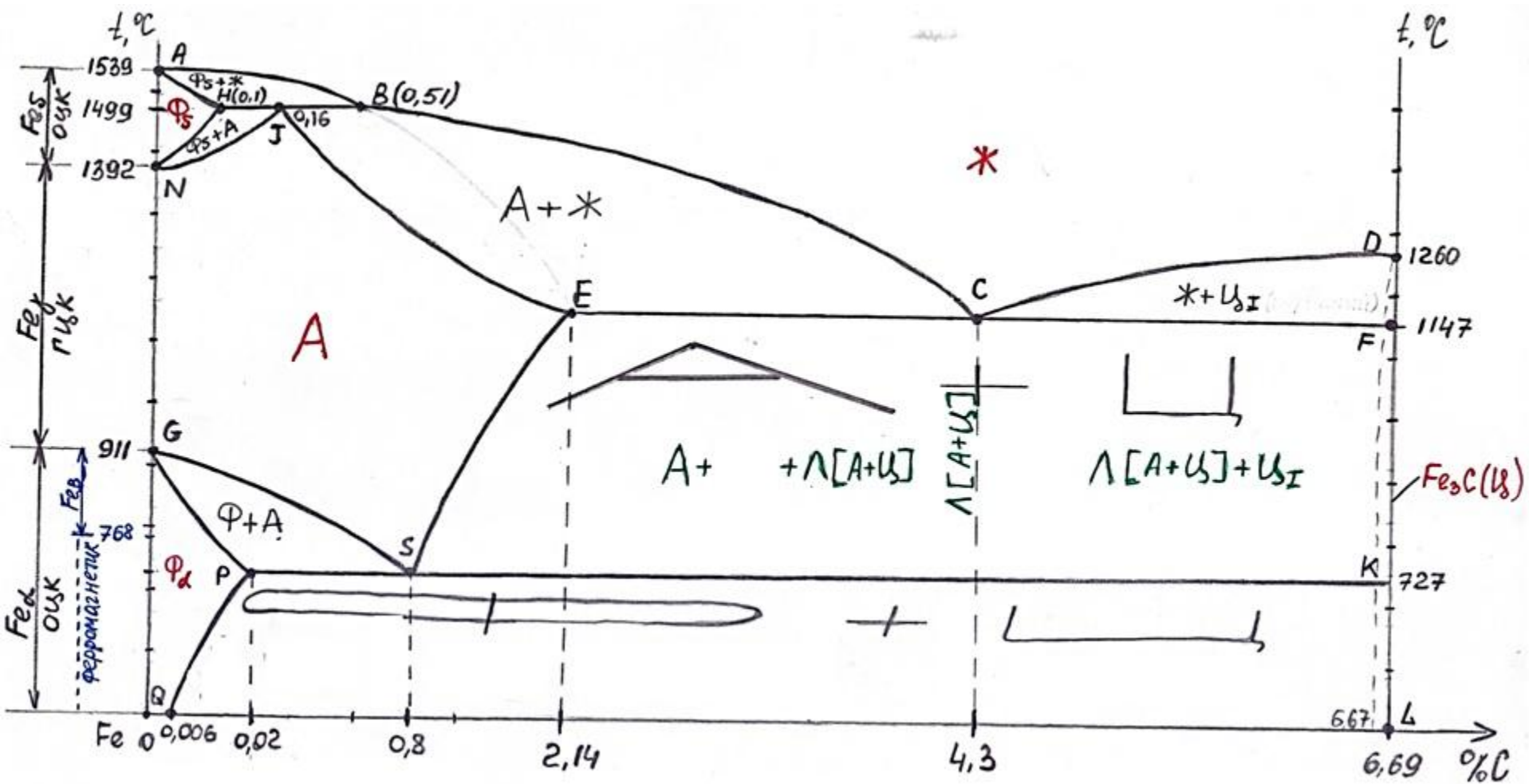
Цементит, выделяющийся из жидкости называют первичным и обозначают как Ц_I .

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).

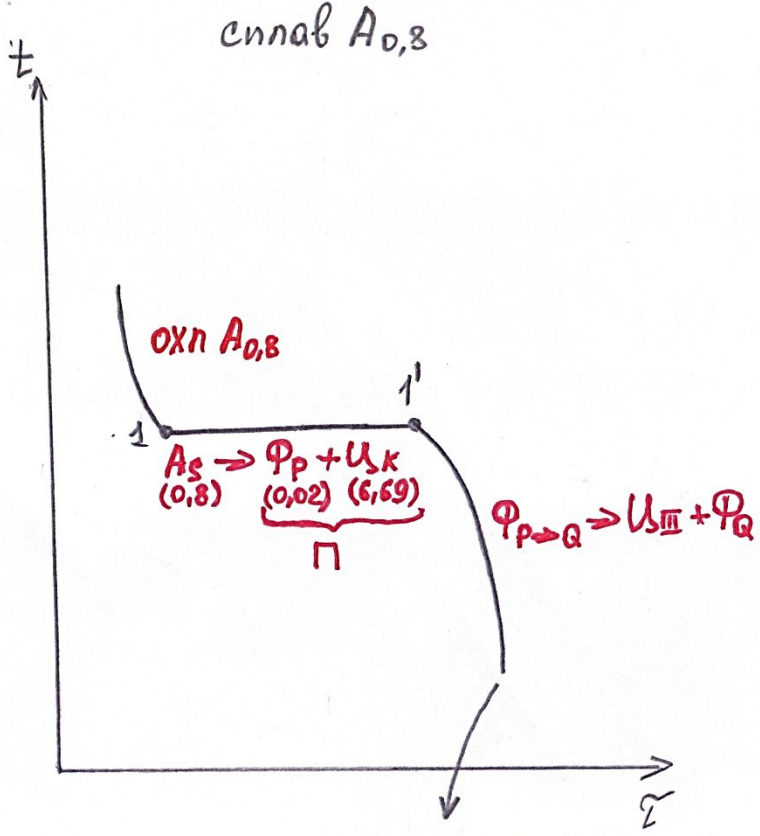
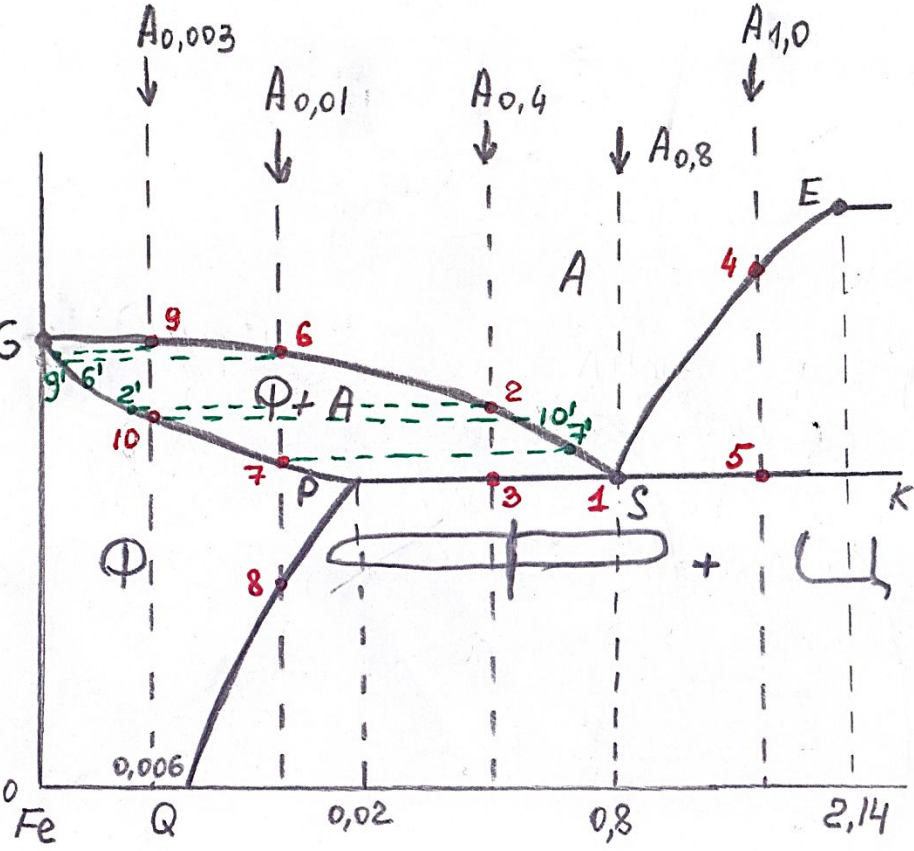


А ещё точнее ответ? □ Нужно рассмотреть структуры сплавов при комнатной температуре



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

1) Сплавы с $0 \div 2,14 \% C$



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

