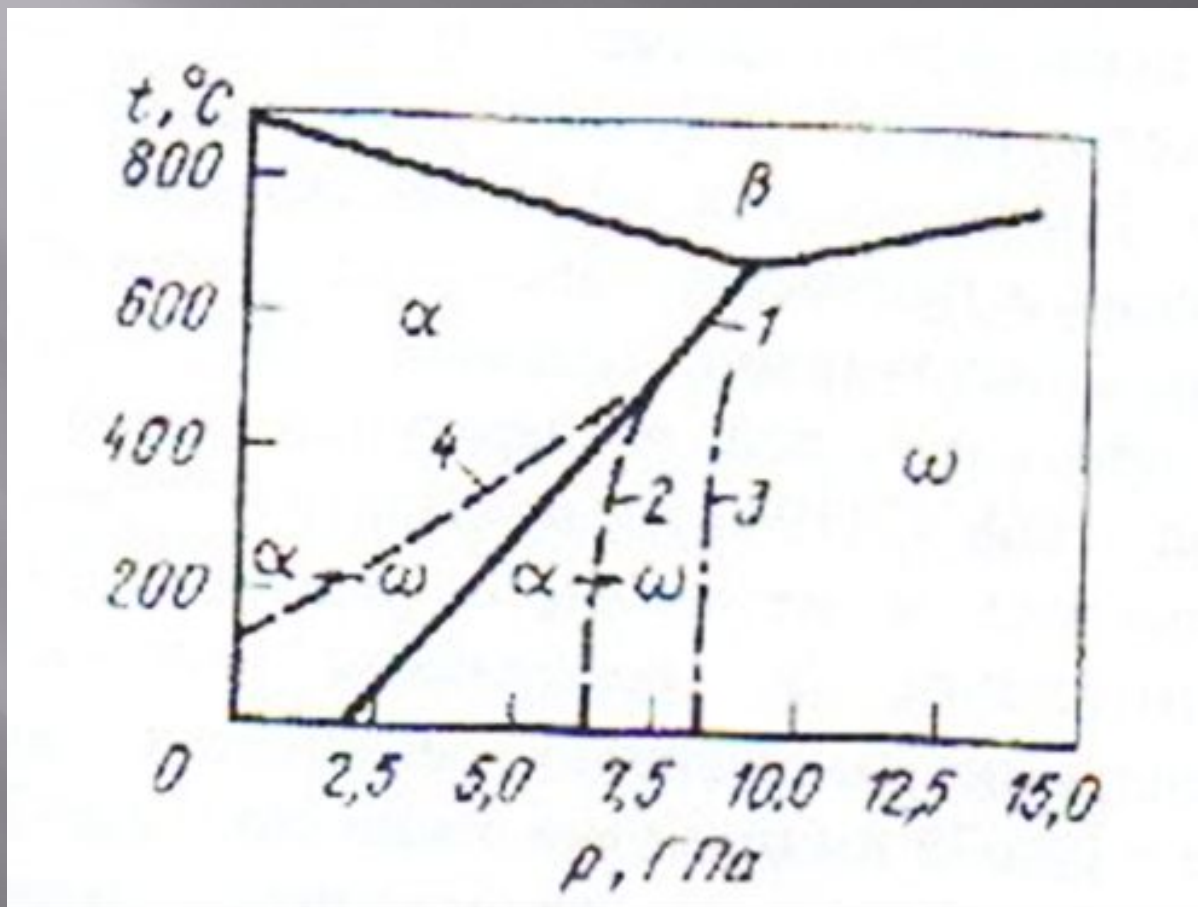


# СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧИСТОГО ТИТАНА

# СВОЙСТВА Ti, Fe, Ni и Al

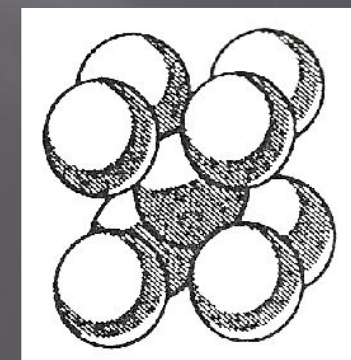
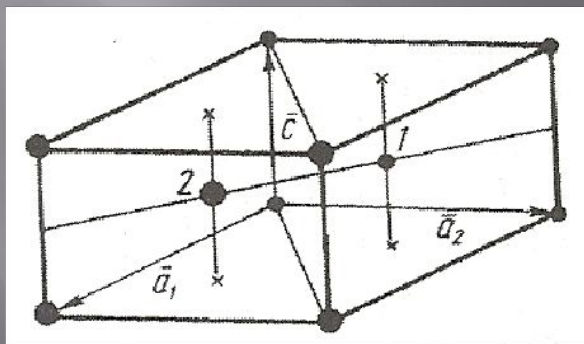
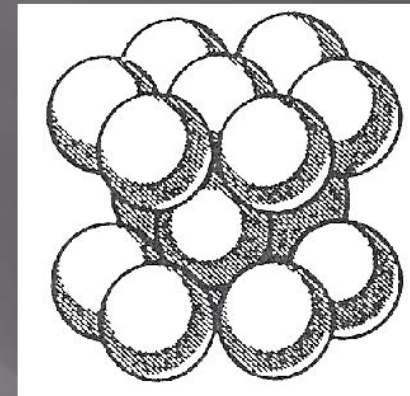
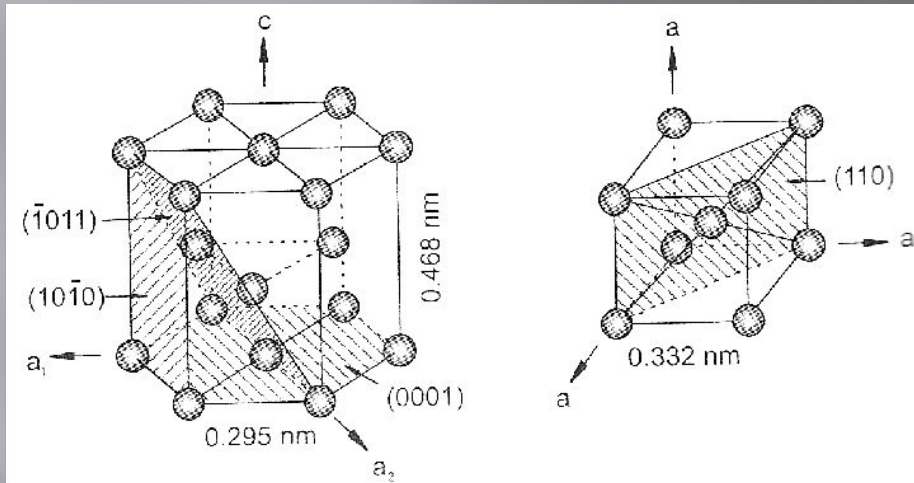
№	Свойства	Ti	Fe	Ni	Al
1	Температура плавления, °С	1670	1538	1455	660
2	Аллотропное превращение	$\beta \xrightarrow{882^\circ\text{C}} \alpha$	$\gamma \xrightarrow{912^\circ\text{C}} \alpha$	-	-
3	Кристаллическая структура	ОЦК→ГП	ГЦК→ОЦК	ГЦК	ГЦК
4	Прочность ( $\sigma_b$ ), МПа / Уд. прочность, км	550/12	300/4	300/3,4	150/5,5
5	Плотность, г/см <sup>3</sup>	4,5	7,9	8,9	2,7
6	Модуль норм. упругости (E), ГПа	115	215	200	72
7	Удельная теплопроводность при 20°С, Вт/м·К (Cu-387)	21,9	80	88,5	221,5
8	Коэффициент линейного расширения при 25°С, 10 <sup>6</sup> , К <sup>-1</sup>	9,2	12,0	13,5	23,3
9	Удельное электросопротивление при 20°С, мкОм·м	0,58	0,086	0,0684	0,02767
10	Модуль сдвига, ГПа	39	83	73	27
11	Сравнительная коррозионная стойкость	Очень высокая	Низкая	Средняя	Высокая
12	Взаимодействие с кислородом	Очень высокое	Низкое	Низкое	Высокое
13	Цена металла	Очень высокая	Низкая	Высокая	Средняя

# T-P ДИАГРАММА ТИТАНА

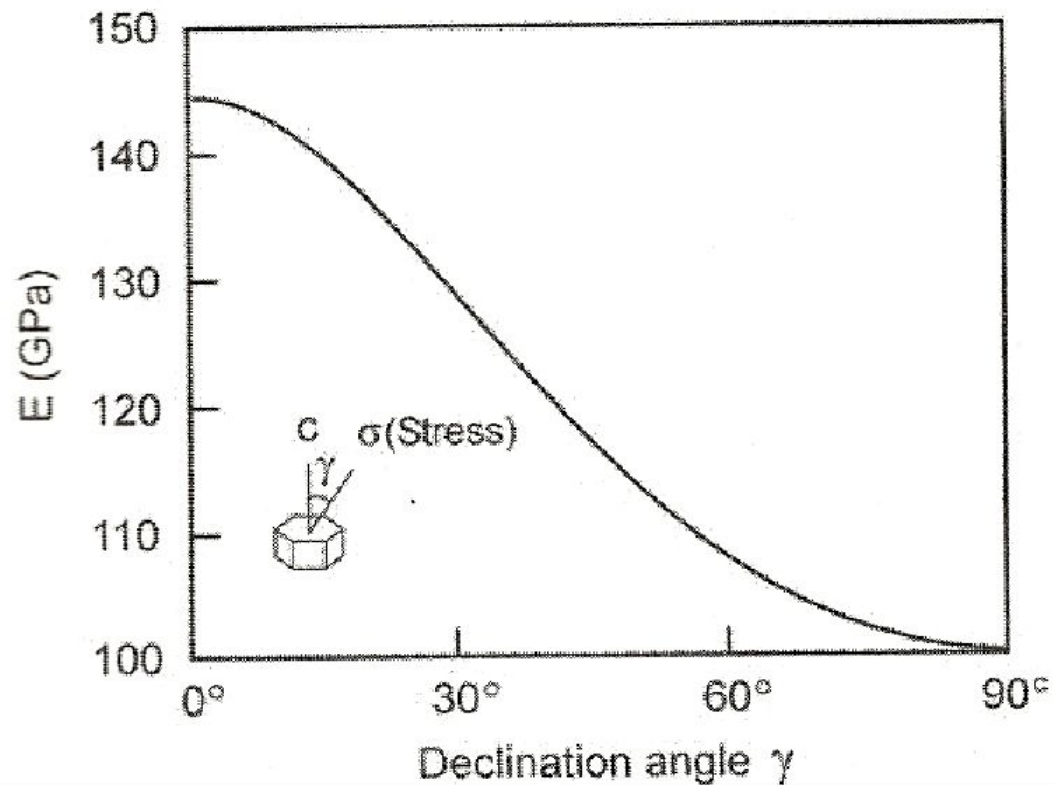
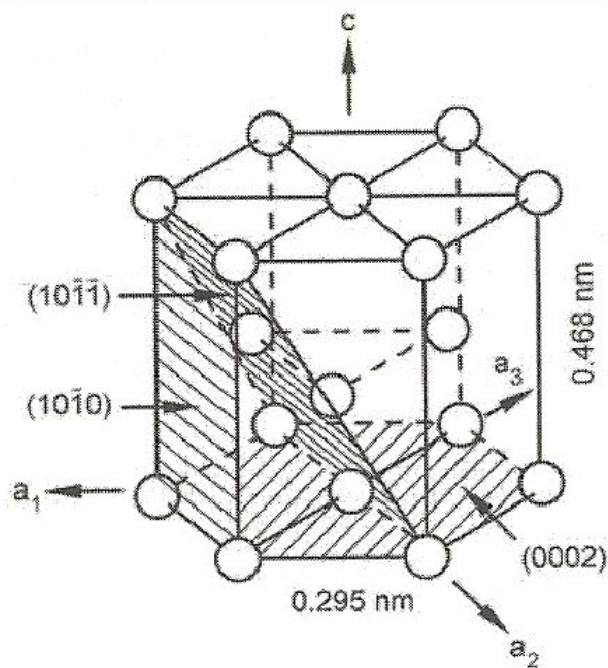


1 – линии равновесия; 2,3 – линии  $\alpha \rightarrow \omega$  превращения; 4 – линия  $\omega \rightarrow \alpha$  превращения

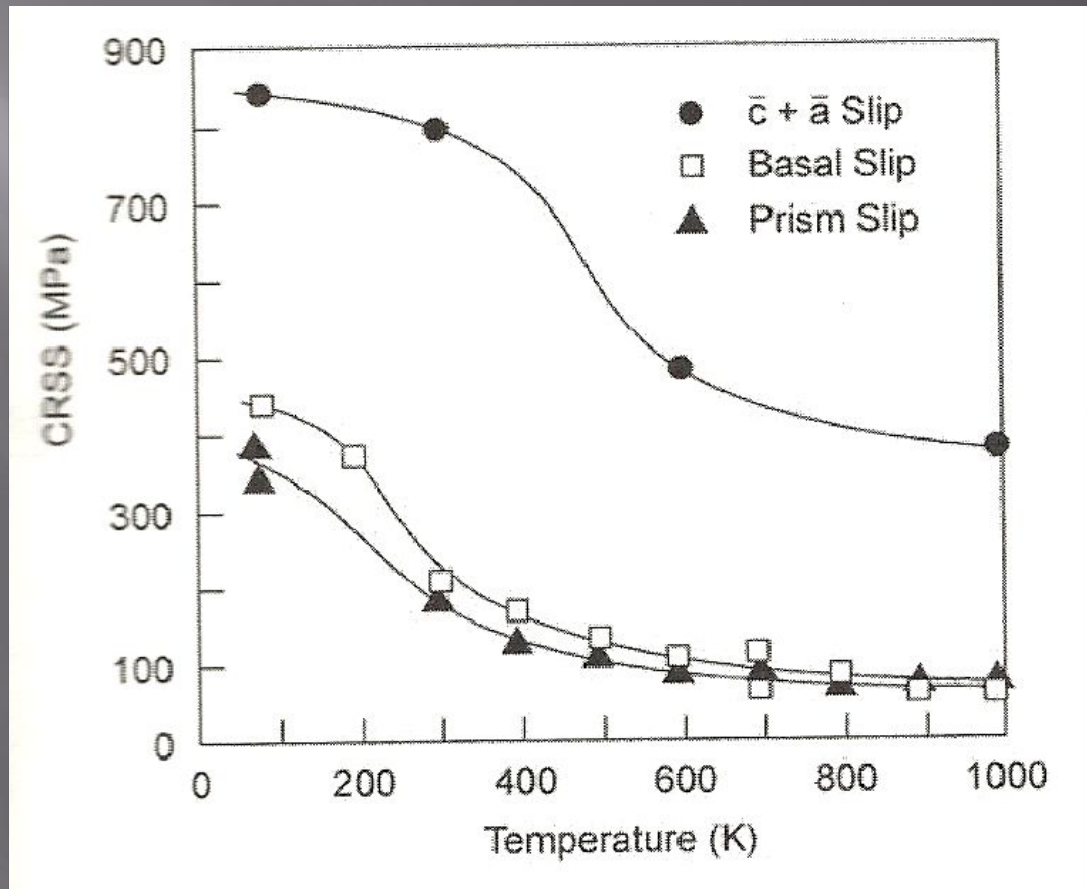
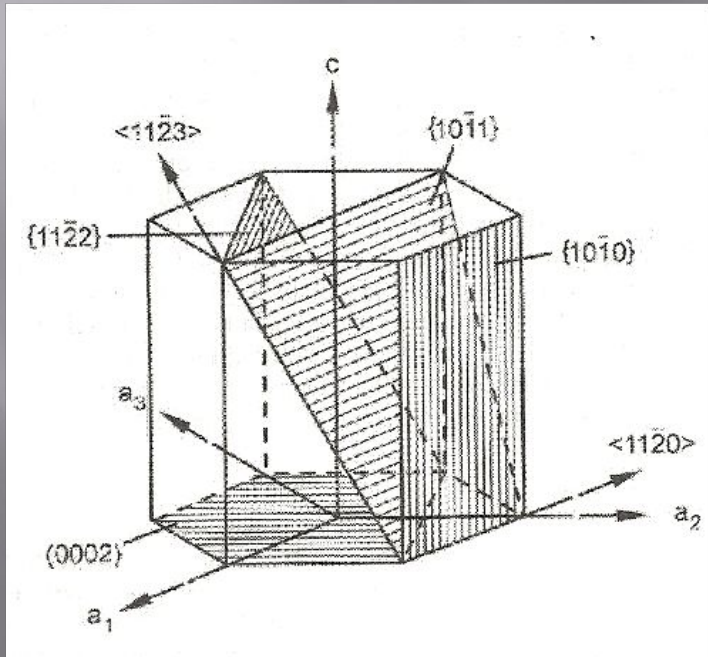
# ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЯЧЕЙКИ А, В И Ω- ФАЗ В ТИТАНЕ



# АНИЗОТРОПИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ В А-ТИТАНЕ

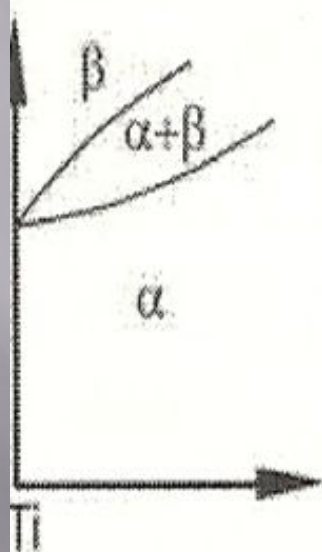


# ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА



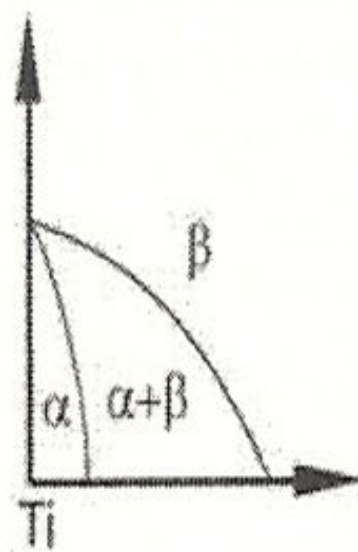
# **СТАБИЛЬНЫЕ И МЕТАСТАБИЛЬНЫЕ ФАЗЫ В ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ**

# ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОЛИМОРФНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ТИТАНА



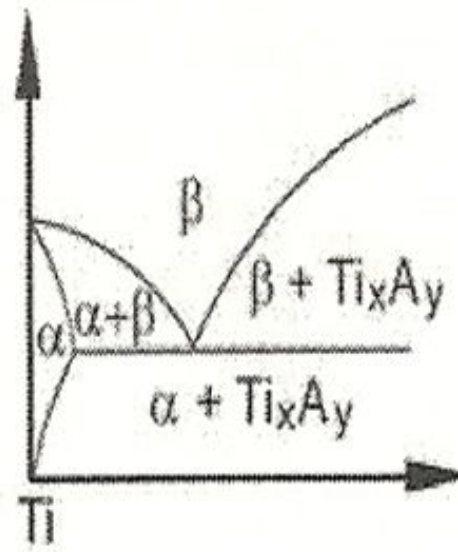
$\alpha$  stabilizer

(Al, O, N, C)



$\beta$  isomorphous

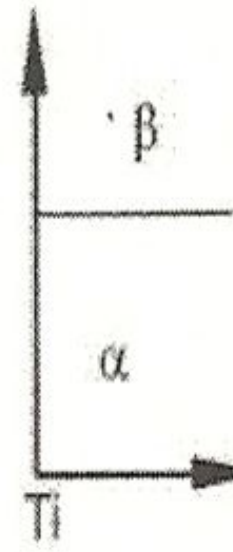
(V, Mo, Nb, Ta)



$\beta$  stabilizer

$\beta$  eutectoid

(Fe, Mn, Cr, Ni, Cu, Si, H)

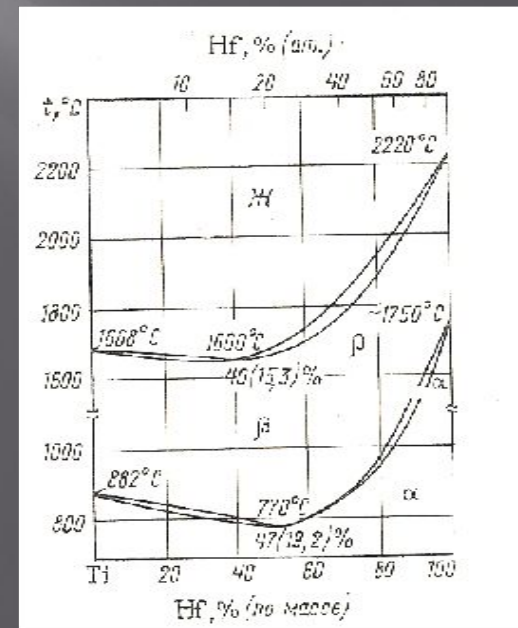
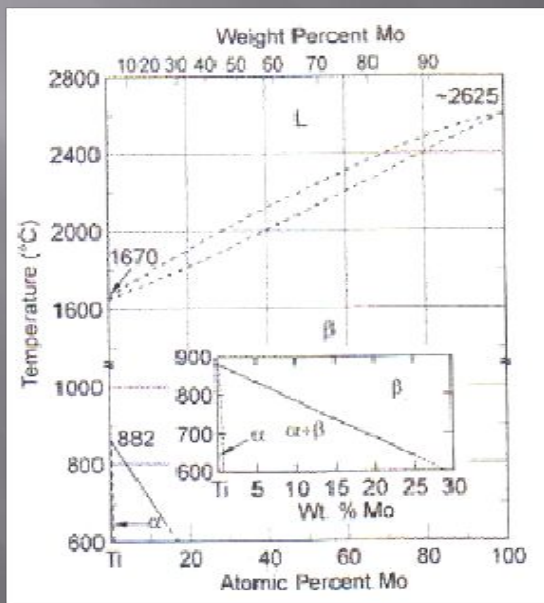
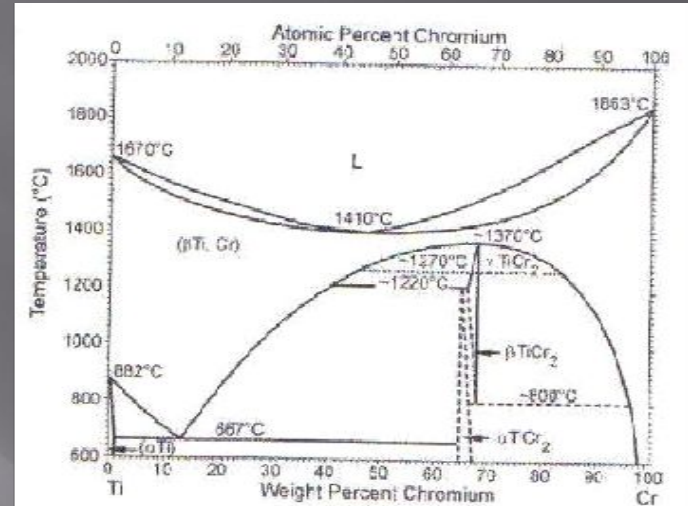
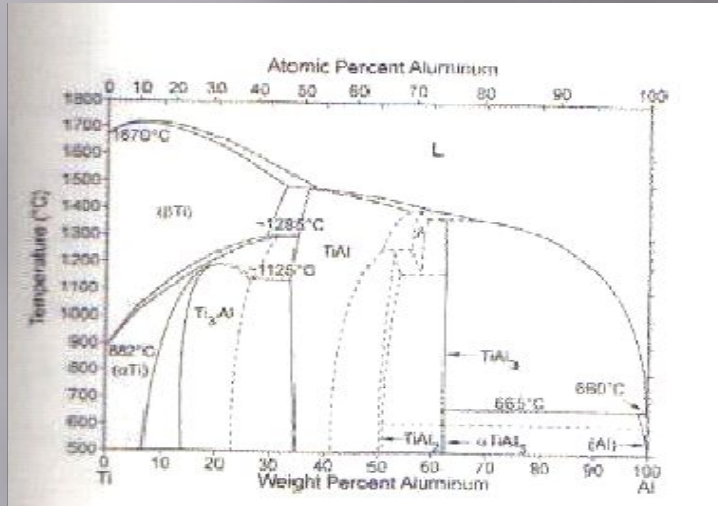


neutral

(Zr, Sn)

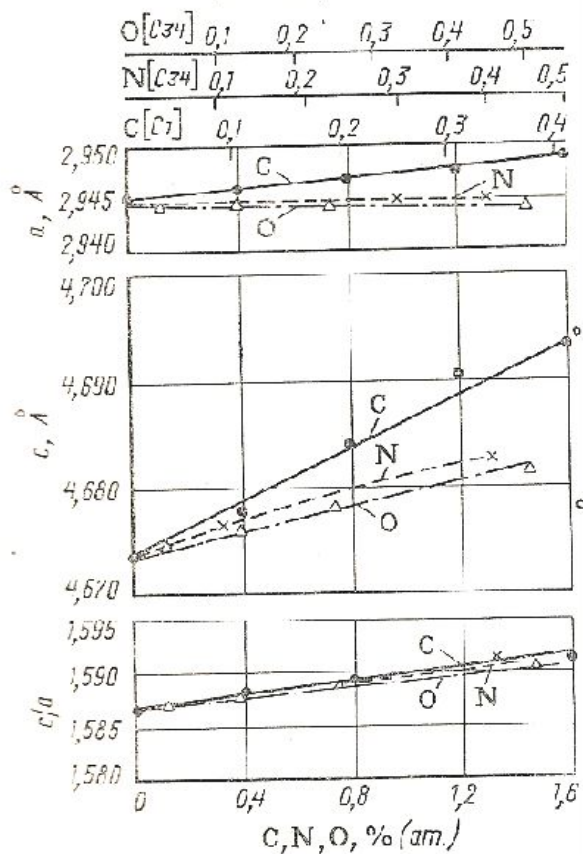


# ПРИМЕРЫ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ

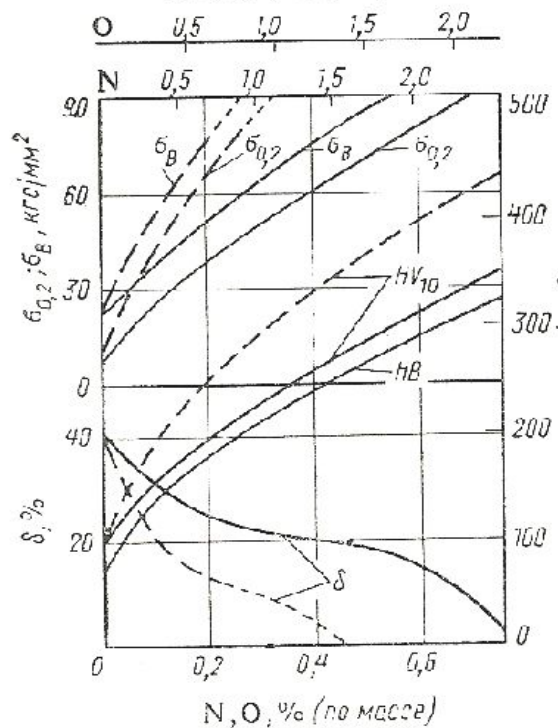


# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕДРЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ РЕШЕТКИ И СВОЙСТВА А-ТИТАНА

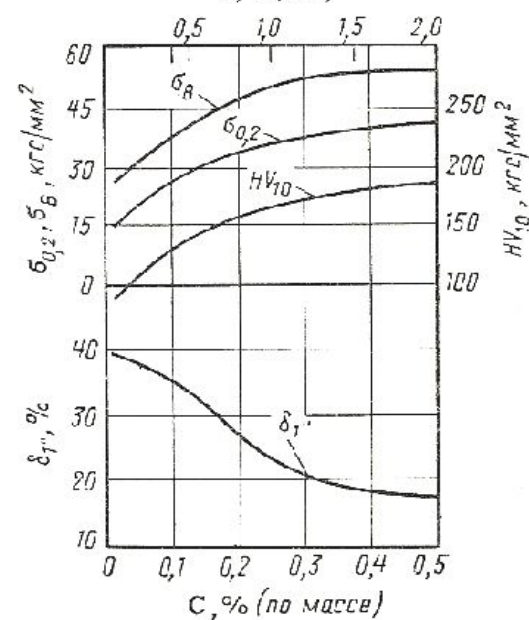
Элемент, % (по массе)



Элемент, % (ат.)



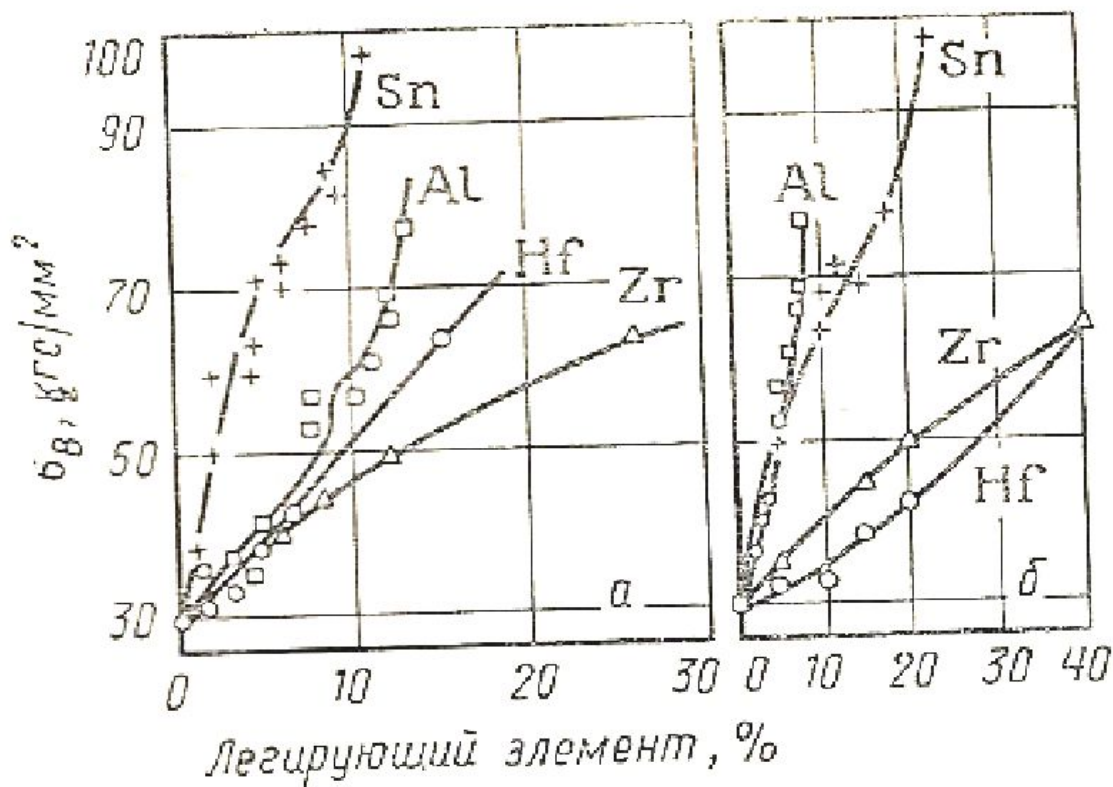
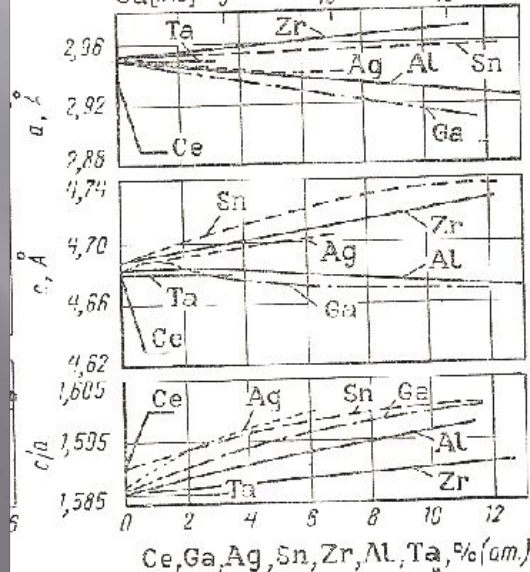
C, % (ат.)



# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАМЕЩЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ РЕШЕТКИ И СВОЙСТВА А-ТИТАНА

элемент, % (по массе)

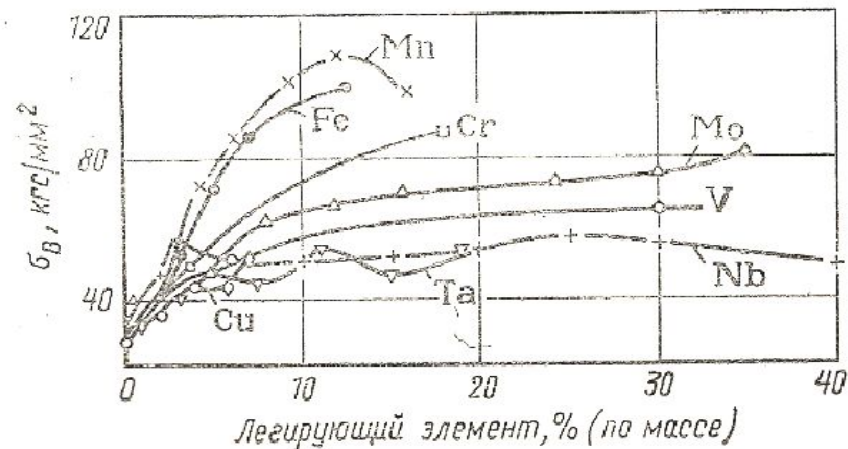
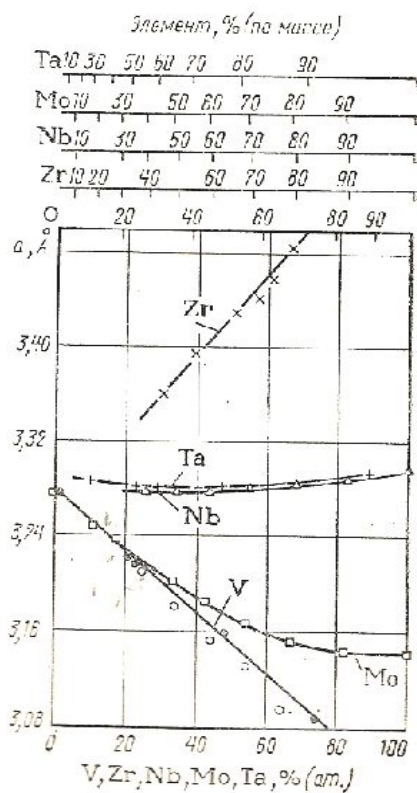
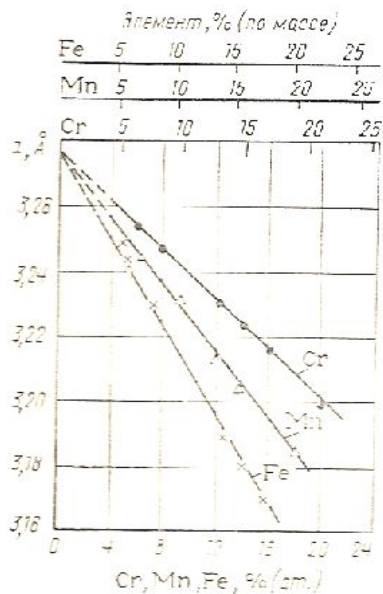
Al [В107]	10	15	20	
Ce [С18]	10	15	20	25
Sn [W71]	10	15	20	25
Ta [M28]	10	20		
Ag [V73]	10	15	20	
Zr [F1]	10	20		
Ga [D10]	5	10	15	

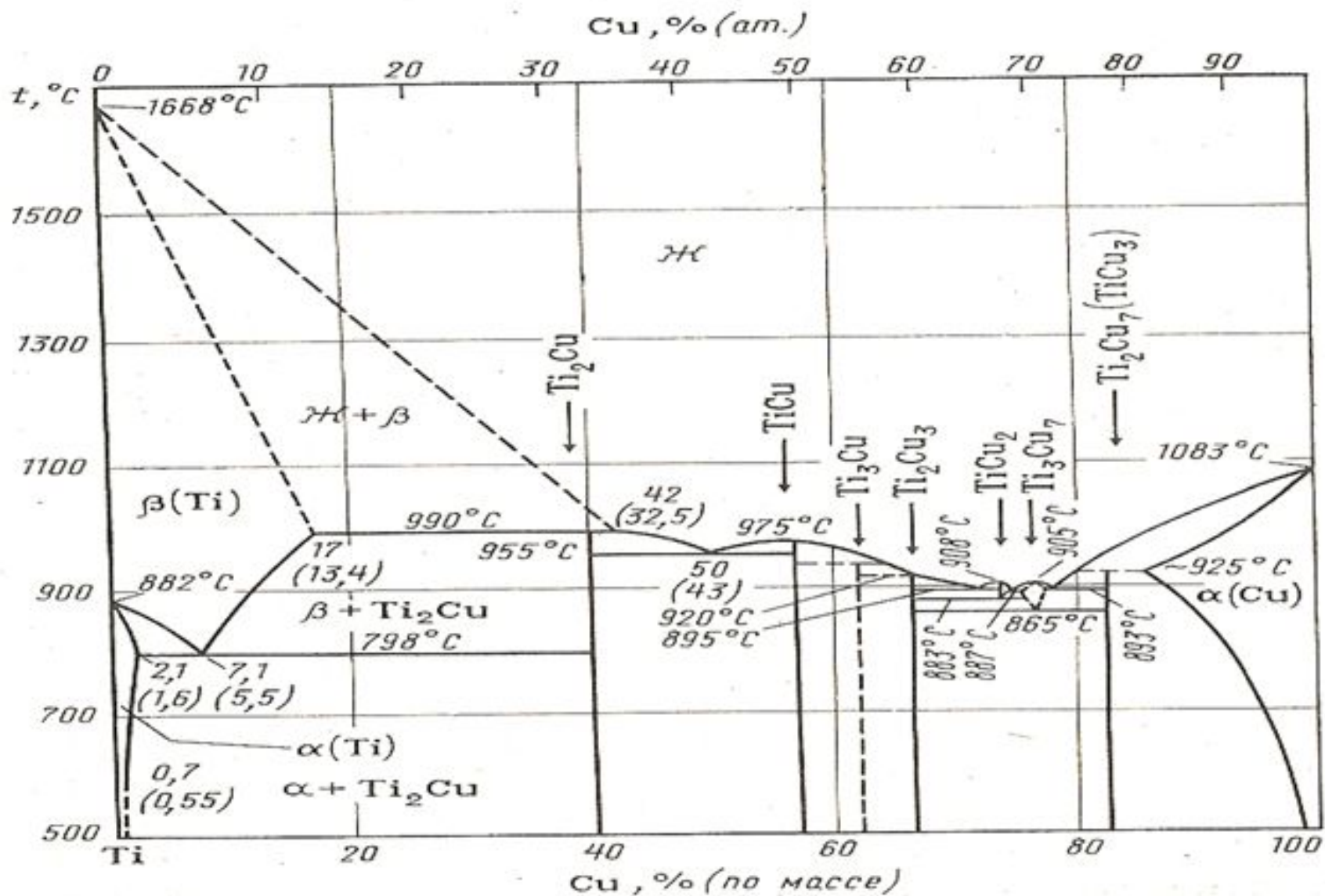


# АТОМНЫЕ РАДИУСЫ ОСНОВНЫХ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ

Элемент	Атомный радиус, нм
Ti	0,145
Mo	0,140
V	0,136
Cr	0,128
Fe	0,127
Al	0,143
Zr	0,160
Sn	0,158
Nb	0,147
Mn	0,130

# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАМЕЩЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ РЕШЕТКИ И СВОЙСТВА В- ТИТАНА





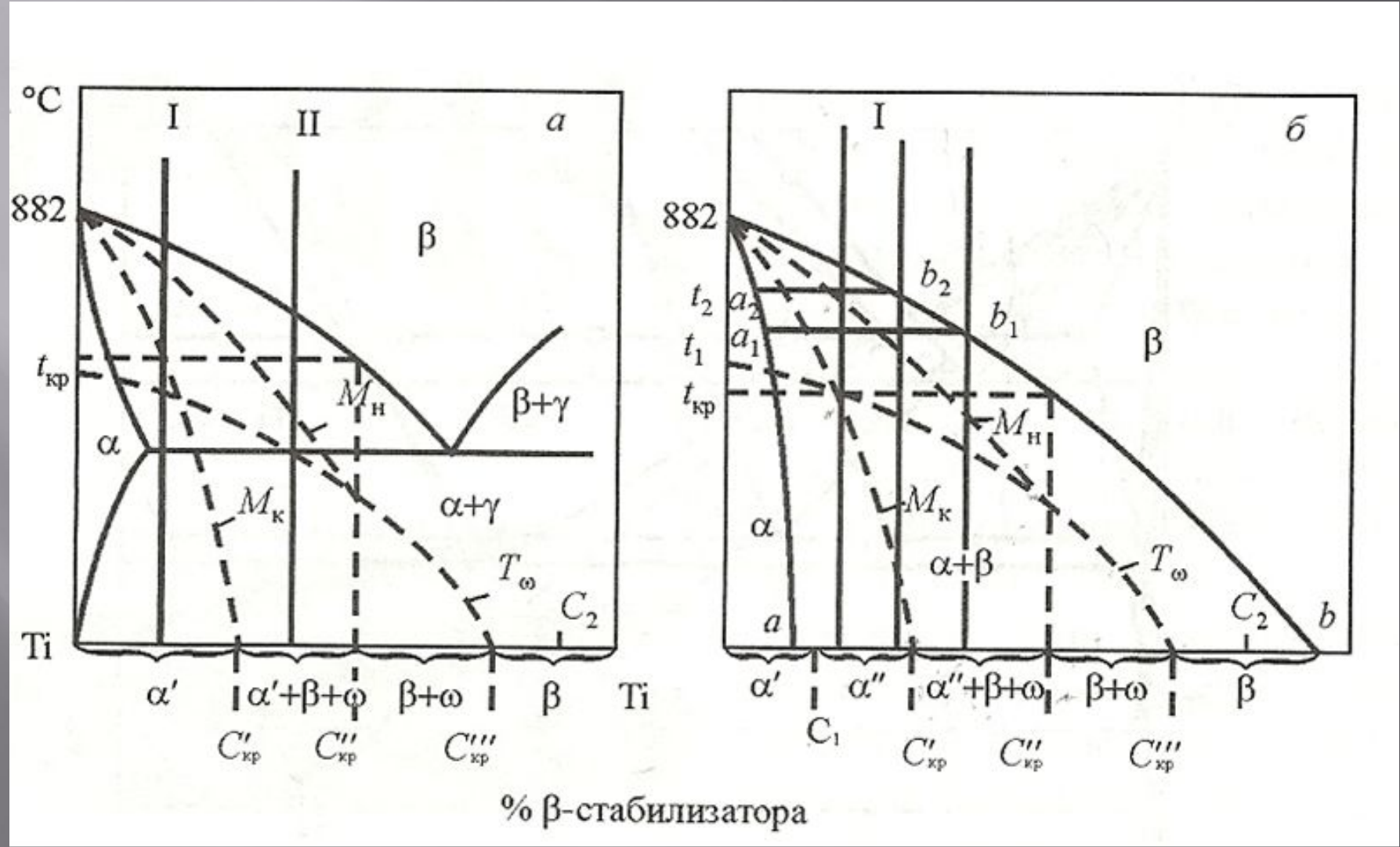
# КОНЦЕНТРАЦИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДВОЙНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ, ПРИ КОТОРОЙ ПРОИСХОДИТ А'/А''- ПЕРЕХОД (С<sub>1</sub>)

V	Nb	Ta	Mo	W
9,4	10,5	26,5	4,0	8,0

## СОДЕРЖАНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДВОЙНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ В-ФАЗЫ ПРИ ЗАКАЛКЕ

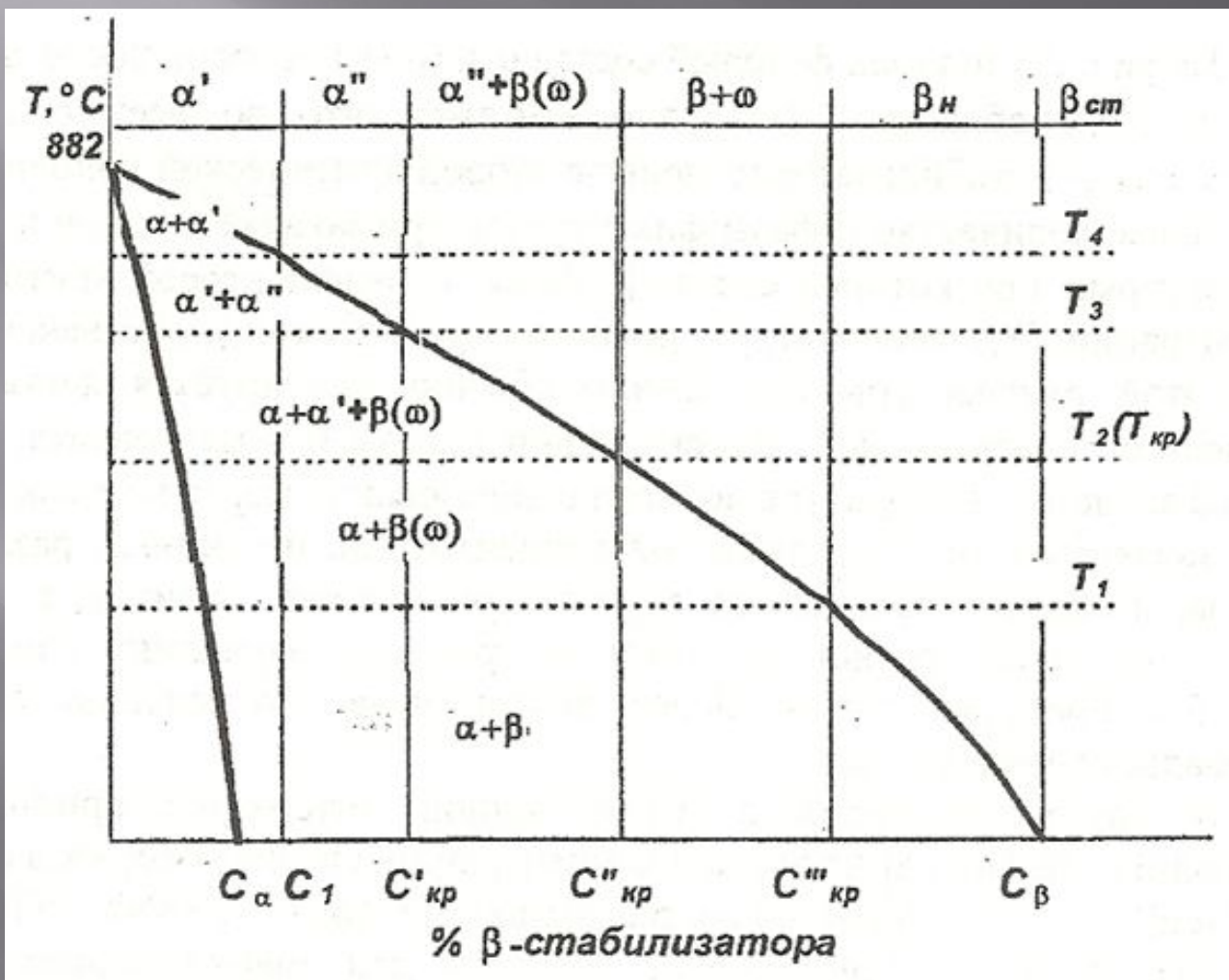
Легирующий элемент	C'' <sub>кр</sub> , мас.%
Молибден	10-11
Ванадий	15-16
Тантал	45
Ниобий	36
Вольфрам	22-23
Хром	6,3-6,5
Железо	5,5-5,6
Марганец	6,0-6,5
Никель	8,5-9,0
Кобальт	7,5-9,5
Медь	13

# ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ЭВТЕКТОИДООБРАЗУЮЩИМИ И ИЗОМОРФНЫМИ В-СТАБИЛИЗАТОРАМИ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ ИЗ В-ОБЛАСТИ

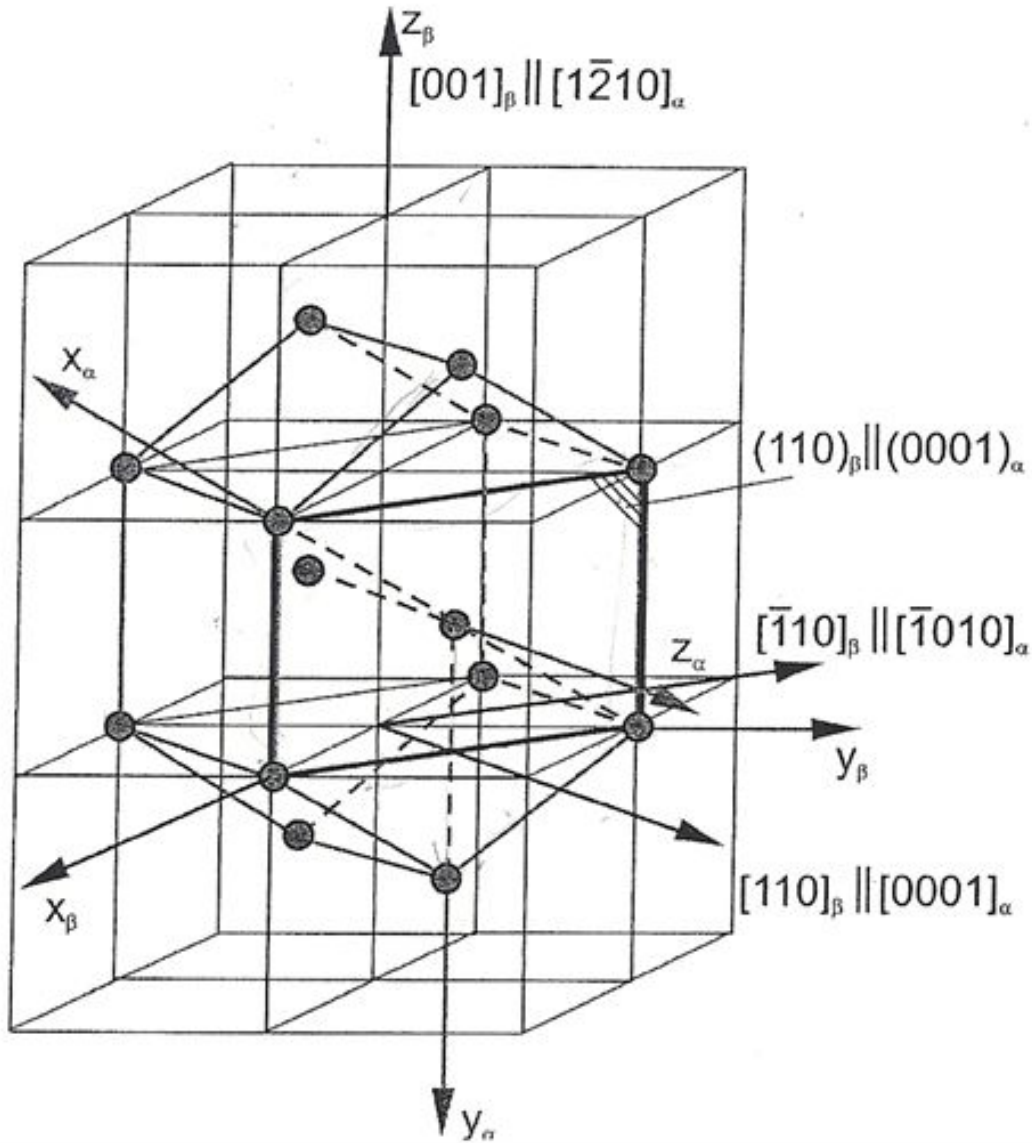




# ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С В-ИЗОМОРФНЫМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ ИЗ В- И (А+В)-ОБЛАСТИ

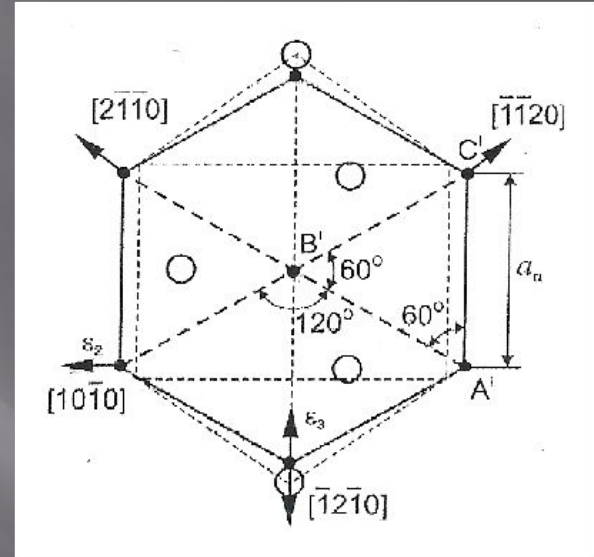
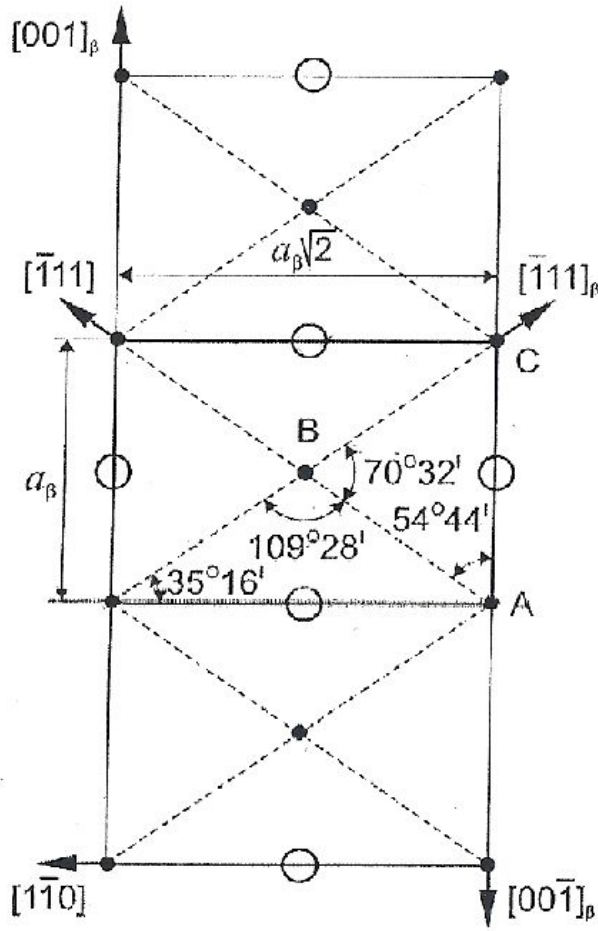


# КРИСТАЛЛОГРАФИЯ В→А-ПРЕВРАЩЕНИЯ



- $X_{\alpha} \parallel [1\bar{1}1]_{\beta}$
- $Y_{\alpha} \parallel [00\bar{1}]_{\beta}$
- $U_{\alpha} \parallel [\bar{1}11]_{\beta}$
- $Z_{\alpha} \parallel [110]_{\beta}$
- $[2\bar{1}\bar{1}0]_{\alpha} \parallel [1\bar{1}1]_{\beta}$
- $[\bar{1}2\bar{1}0]_{\alpha} \parallel [00\bar{1}]_{\beta}$
- $[\bar{1}\bar{1}20]_{\alpha} \parallel [\bar{1}11]_{\beta}$
- $[0001]_{\alpha} \parallel [110]_{\beta}$

# КРИСТАЛЛОГРАФИЯ В→А-ПРЕВРАЩЕНИЯ



Деформация Бейна:

$$\epsilon_{001}^3 = \frac{a_\alpha - a_\beta}{a_\beta} = -10\%$$

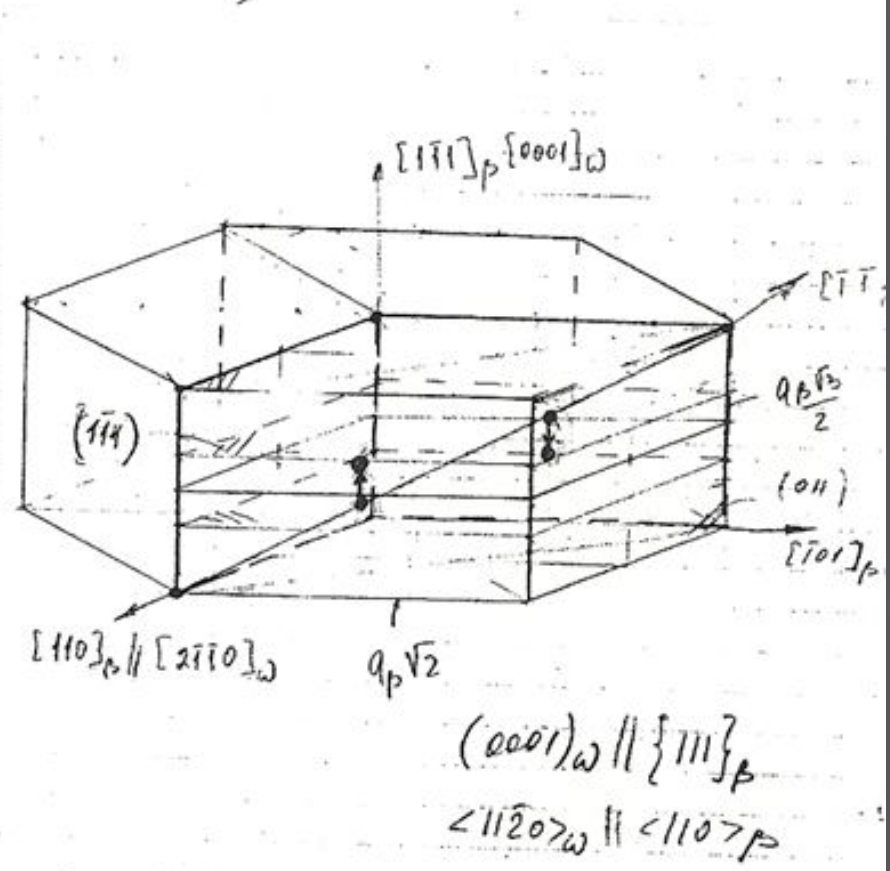
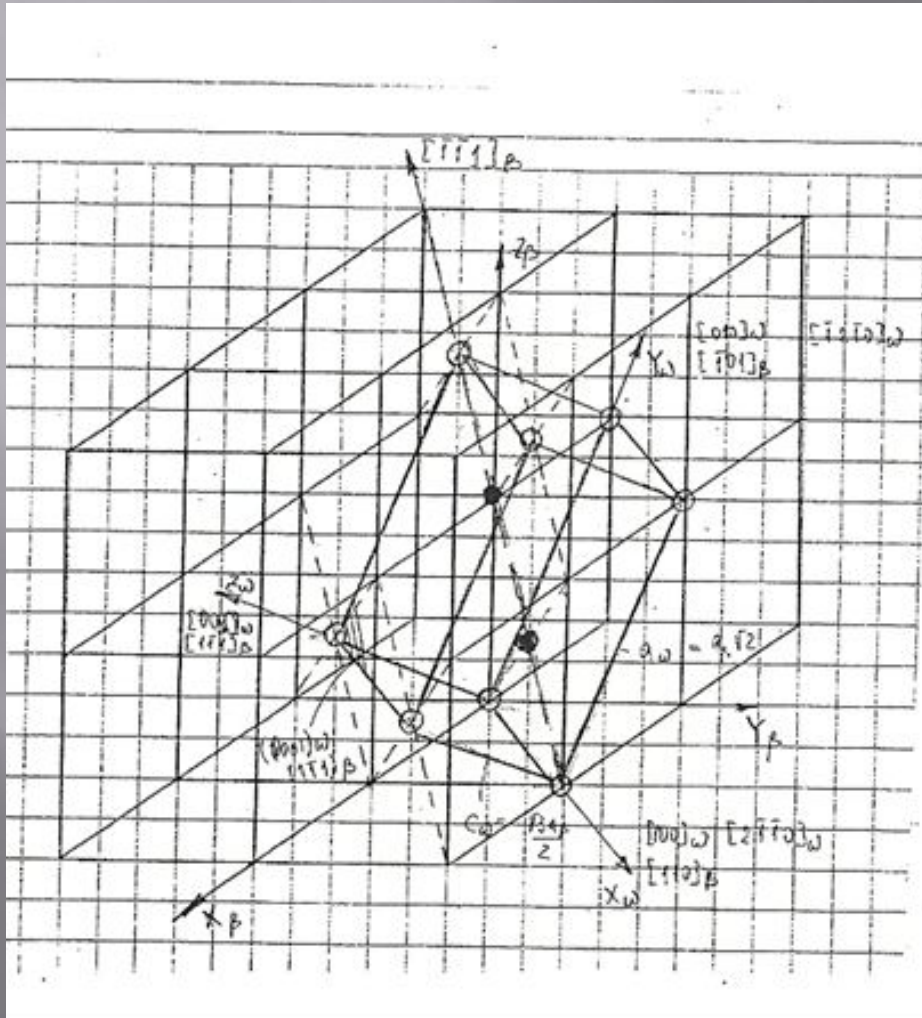
$$\epsilon_{110}^2 = \frac{2a_\alpha \cdot \sin 60^\circ - a_\beta \sqrt{2}}{a_\beta \sqrt{2}} = \frac{a_\alpha \sqrt{3} - a_\beta}{a_\beta \sqrt{2}} = +10\%$$

$$\epsilon_{110}^1 = \frac{c_\alpha - \sqrt{2} \cdot a_\beta}{\sqrt{2} \cdot a_\beta} = +1\%$$

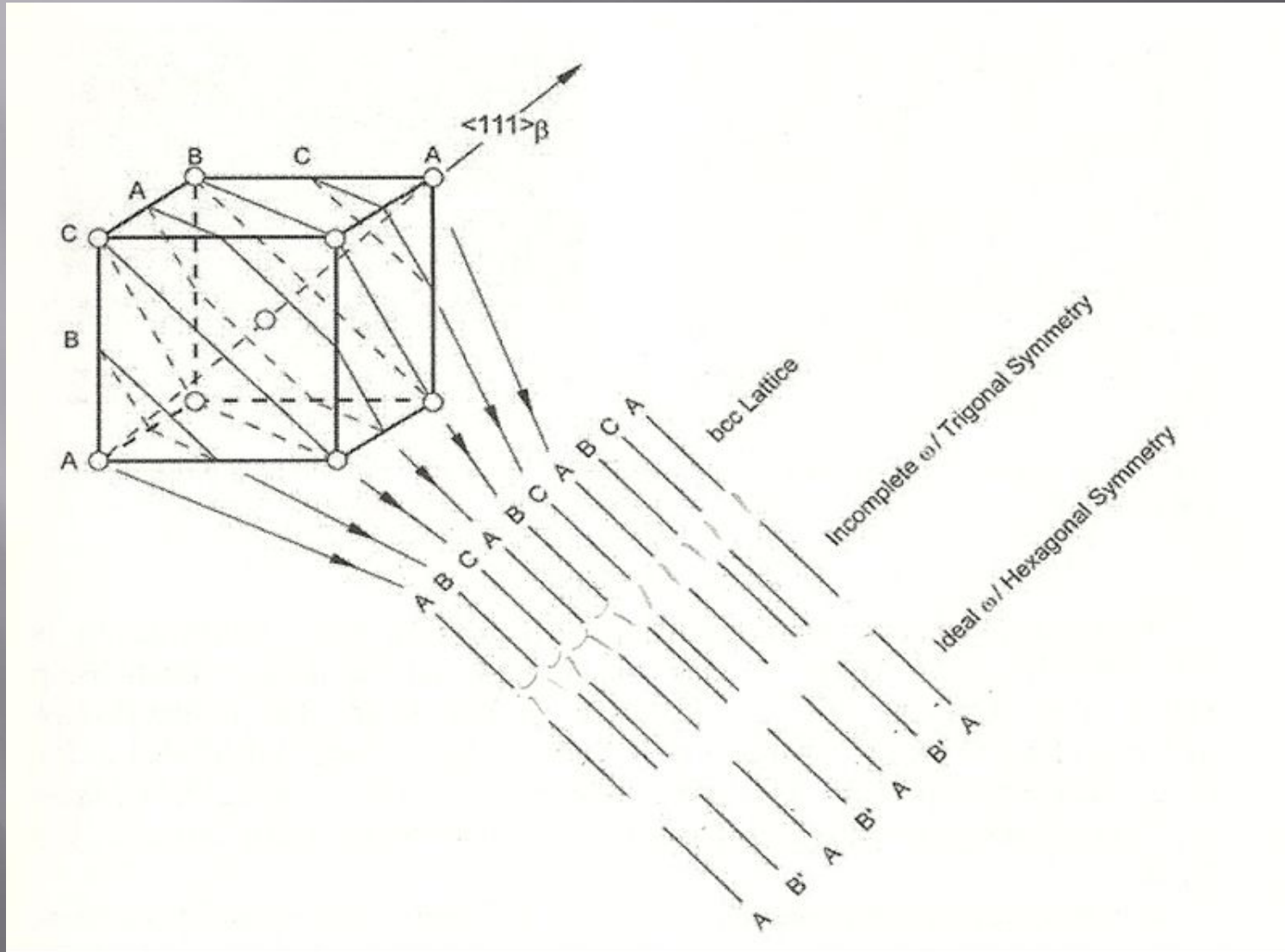
# СУБСТРУКТУРА МАРТЕНСИТА А' И А''

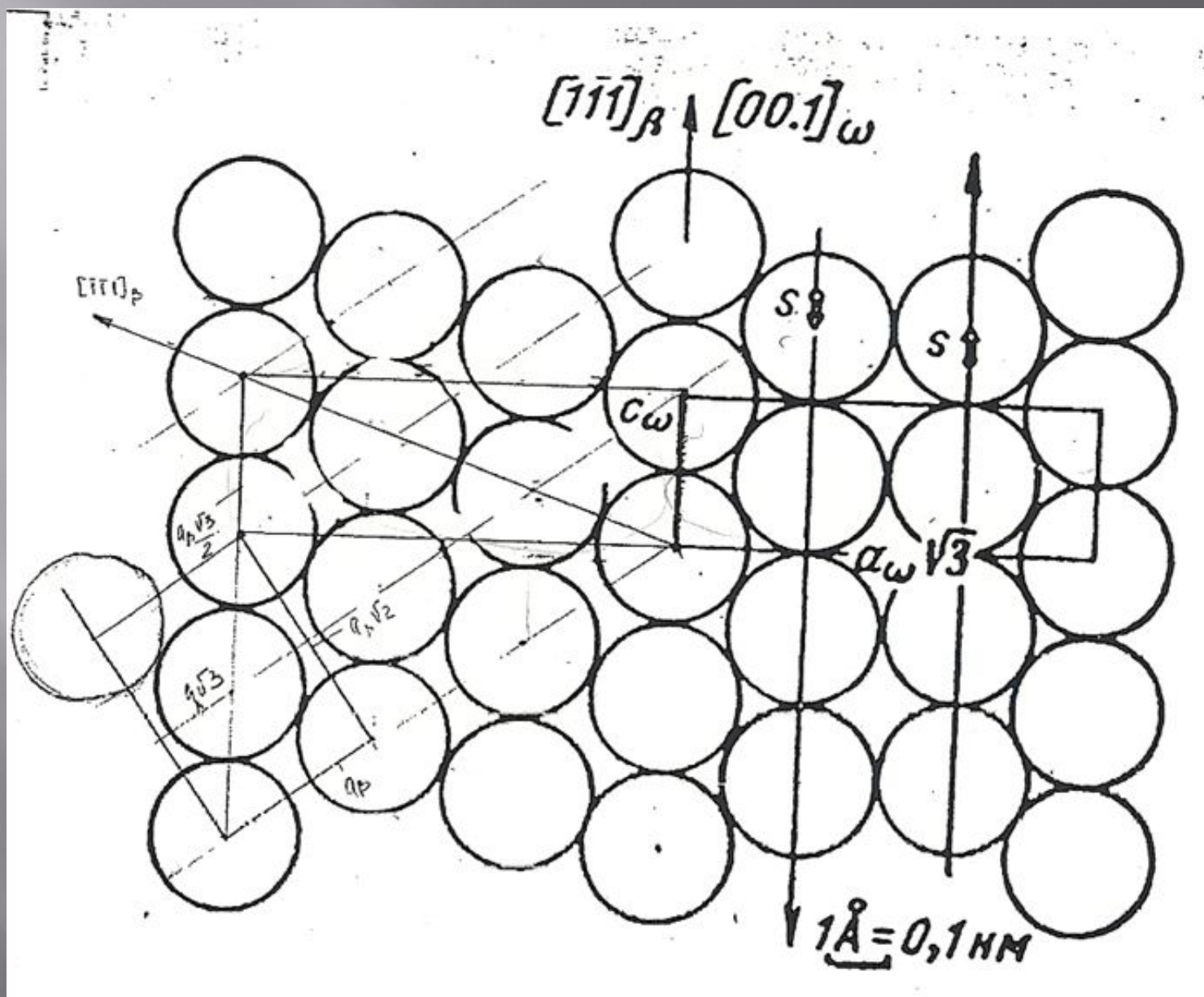


# КРИСТАЛЛОГРАФИЯ В → Ω-ПРЕВРАЩЕНИЯ



# КРИСТАЛЛОГРАФИЯ В→Ω-ПРЕВРАЩЕНИЯ





# ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ $\Omega$ -ФАЗЫ

