

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Ковровская государственная технологическая академия  
имени В.А.Дегтярева»**

## ***Титан и его сплавы***

# История открытия и промышленного применения

- Открыт в 1789 г. Клапротом.
- В 1925 г. Ван Аркелем и де Бур получили иодидный титан.
- В 1940 г. Кролль открыл магниетермический способ извлечения титана из руд.
- В 1948 г. получена первая промышленная партия титана массой 2 *t*.
- В 1953 г. было получено 2100 *t* титана;  
в 1957 г. - 20000 *t*; в 1966 г. - 22000 *t*; в 1981 г. – 55000 *t*; в 1996 г. – 66000 *t*.

# Преимущества титана

- распространенность в земной коре : (0,60%) четвертое место после алюминия (8,8 %), железа (5,1%) и магния (2,1%);
- небольшая плотность при высокой удельной прочности;
- необычайно высокая коррозионная стойкостью;
- значительная прочность при повышенных температурах;
- рабочие температуры: от  $-196$  до  $500^{\circ}\text{C}$ , до  $650^{\circ}\text{C}$  кратковременно.
- Среди конструкционных металлов титан по распространенности занимает четвертое место, уступая лишь алюминию, железу и магнию.

# Недостатки титана

- большая склонность к водородной хрупкости и солевой коррозии;
- высокая химическая активность, в частности, активное взаимодействие с газами при повышенных температурах и в жидком состоянии;
- невысокие антифрикционные свойства (налипание);
- плохая обрабатываемость резанием, сравнимую с нержавеющей сталью аустенитного класса;
- трудности вовлечения отходов в производство.
- Широкое применение титана сдерживается в основном высокой его стоимостью (губка – 4.500\$/т, слиток – 7.000 \$/т).

# Применение титана и его сплавов

- Судостроение: гребные винты; обшивка морских судов, подводных лодок, торпед...
- Криогенная техника.
- Химическая, нефтехимическая, пищевая, электроника, ядерная техника.
- Медицина: инструмент, имплантанты.
- Спорт, украшения.
- Вооружения: броневые плиты, некоторые элементы боеприпасов.

# Свойства титана

- Четырехвалентный элемент, атомный номер 22.
- Плотность низкотемпературной модификации  $4,505 \text{ г/см}^3$ .
- Температура плавления  $1668 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Температура полиморфного превращения  $882,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Коэффициент линейного расширения при  $20^\circ \text{ C}$   $8,15 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .
- Удельное электросопротивление при  $20^\circ \text{ C}$   $45 \times 10^{-6} \text{ Ом} \times \text{см}$ .
- Модуль нормальной упругости  $146 \text{ ГПа}$ .
- При  $0,45\text{K}$  титан становится сверхпроводником.
- Титан – парамагнитный металл.

# Коррозионные свойства титана

- Титан — химически активный металл;
- обладает исключительно высоким сопротивлением коррозии (выше нержавеющей стали), что объясняется образованием на поверхности металла плотной защитной окисной пленки.
- реагирует с: плавиковой, соляной, серной и ортофосфорной, щавелевой, три-хлоруксусной и трифторуксусной.
- стоек в тех средах, которые не разрушают защитную окисную пленку на его поверхности, и особенно в тех средах, которые способствуют ее образованию.
- отличается чрезвычайно высокой коррозионной стойкостью в морской воде.

# Коррозионные свойства титана

- при высоких температурах активно взаимодействует с большинством веществ, особенно с газами: кислородом, азотом, водородом, окисью углерода, двуокисью углерода, водяным паром, аммиаком.
- Титан при низких температурах абсорбирует чрезвычайно большие количества водорода. Например, при температуре  $600^{\circ}\text{C}$  и давлении  $0,1$  МПа титан поглощает  $32000$   $\text{см}^3/100\text{г}$  водорода, в то время как железо при той же температуре абсорбирует всего  $1,31$   $\text{см}^3/100\text{г}$ , а алюминий  $0,026$   $\text{см}^3/100\text{г}$ . Абсорбция водорода титаном — процесс обратимый. Вакуумный отжиг легко устраняет водород.



# Химический состав титановых сплавов

**α-стабилизаторы** - элементы, повышающие стабильность α-фазы.

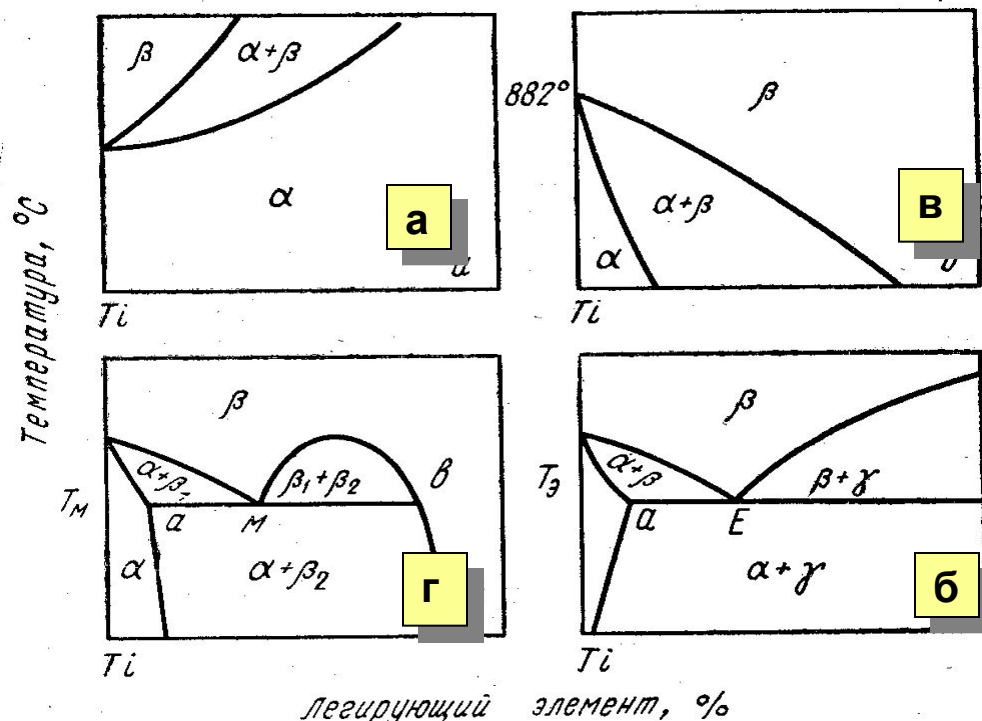
α-стабилизаторы: Al, Ga и In; C, O, N. (а)

**β-стабилизаторы** - элементы, повышающие стабильность β- фазы; **две подгруппы:**

1) при достаточно низкой температуре происходит эвтектоидный распад β-фазы:  $\beta \Rightarrow \alpha + \gamma$ ; эвтектоиднообразующими β-стабилизаторы: Cr, Mn, Fe, Cu, Ni, Pb, Be, Co (б);

2) β-твердый раствор сохраняется до комнатной температуры, не претерпевая эвтектоидного распада; изоморфные β-стабилизаторы: V, Mo, Nb, Ta (в); W (г);

• *Нейтральные упрочнители (мало влияют на устойчивость α - и β - фаз): Sn, Zr, Ge, Hf и Th.*



# Влияние примесей

- образующие с титаном растворы внедрения (кислород, азот, углерод, водород);
- образующие с титаном растворы замещения (железо и кремний).
- примеси внедрения значительно более сильно влияют на свойства титана, чем примеси замещения.

# Технический титан

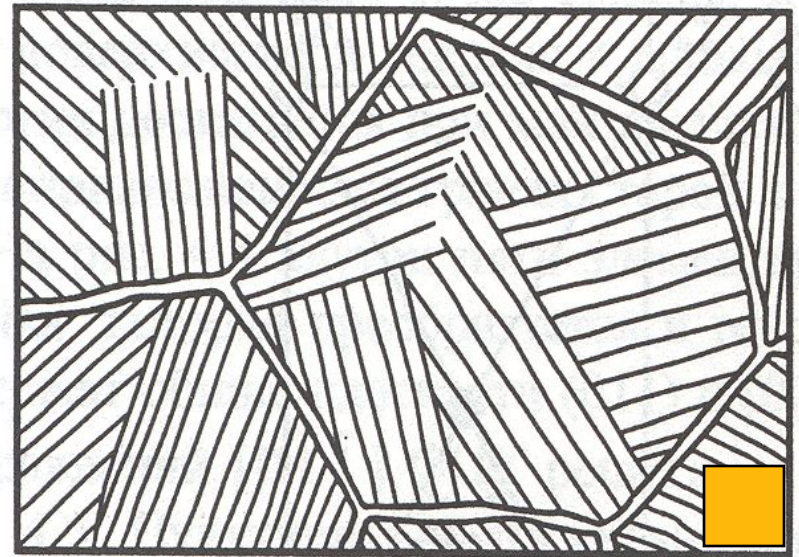
Марка	Примеси, %, не более						Прочие
	Fe	Si	C	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	
BT1-0	0,18	0,10	0,07	0,12	0,04	0,010	0,3
BT1-00	0,12	0,08	0,05	0,10	0,04	0,008	—

# Полиморфное превращение в Ti-сплавах

температура перехода от  $(\alpha + \beta)$  к  $\beta$  обозначают  $T_p$ ,  $T_{pp}$  или  $A_{c_3}$  (при нагреве) и  $A_{r_3}$  (при охлаждении)

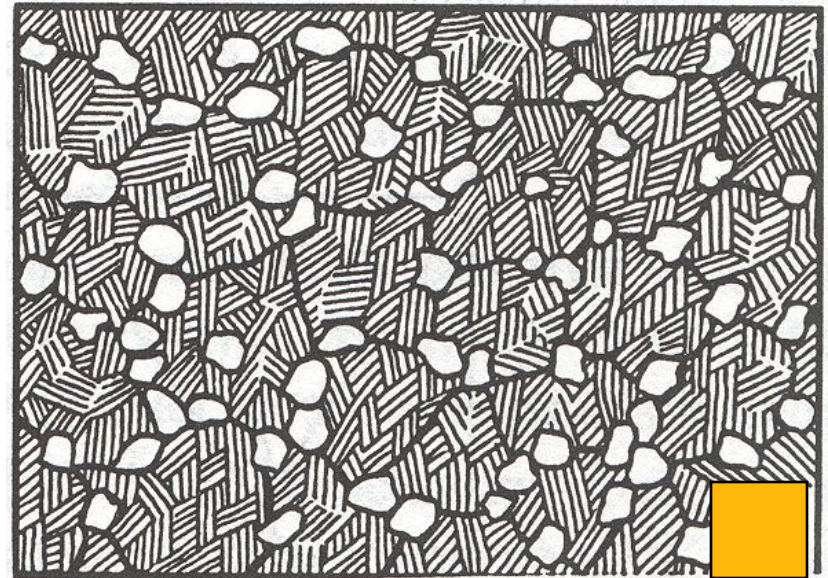
## Типы структур в Ti-сплавах

- Превращенная  $\beta$ -структура (получается при малых скоростях охлаждения).
- Бывшее  $\beta$ -зерно, в котором расположены  $\alpha$ -колонии.



# Типы структур в Ti- сплавах

- Смешанная или дуплексная структура (получается при нагреве в  $\alpha+\beta$  область и последующем медленном охлаждении).
- Состоит из первичной  $\alpha$ -фазы и  $\beta$ - превращенной матрицы.





# Классификация титана и его сплавов

1.  $\alpha$ -Ti сплавы, структура которых представлена  $\alpha$ -фазой;
2. псевдо- $\alpha$ -сплавы, структура которых представлена в основном  $\alpha$ -фазой и небольшим количеством  $\beta$ -фазы (не более 5%);
3. ( $\alpha+\beta$ )-сплавы, структура которых представлена в основном  $\alpha$  и  $\beta$ -фазами;
4. псевдо- $\beta$ -сплавы со структурой в отождествленном состоянии, представленной  $\alpha$ -фазой и большим количеством  $\beta$ -фазы; в этих сплавах закалкой или нормализацией из  $\beta$ -области можно легко получить однофазную  $\beta$ -структуру;
5.  $\beta$ -сплавы, структура которых представлена термодинамически стабильной  $\beta$ -фазой.

# Классификация Ti-сплавов по структуре в закаленном состоянии

1. Сплавы мартенситного класса, структура которых после закалки из  $\beta$ -области представлена  $\alpha'$ -или  $\alpha''$ -мартенситом;
2. сплавы переходного класса, структура которых после закалки с температур  $\beta$ -области представлена мартенситом  $\alpha'$  ( $\alpha''$ ) и  $\beta$ -фазой, независимо от того образовалась в ней или нет  $\omega$ -фаза;
3.  $\beta$ -сплавы, структура которых после закалки представлена  $\beta$ - или  $\beta$  ( $\omega$ )-фазами.

# Состав промышленных Ti-сплавов

№ п/ п	Сплав	K <sub>β</sub>	Содержание легирующих элементов, %					
			Al	Zr	V	Mo	Cr	другие элементы

## *α-сплавы*

1	BT1-00							
2	BT1-0			—	—	—	—	
3	BT5-1		4,0-6,0	-	-	—	—	(2,0...3,0)Sn
4	ПТ7М		1,8-2,5	2,0-3,0	-	-	-	-



# Состав промышленных Ti-сплавов

№ п/ п	Сплав	K <sub>β</sub>	Содержание легирующих элементов, %					
			Al	Zr	V	Mo	Cr	другие элементы

## *Псевдо-α-сплавы*

5	OT4-0	0,15	0,4-1,4		-	-		(0,5...1,3)Mn
6	OT4-1	0,23	1,5-2,5	-	-	-	-	(0,7...2,0)Mn
7	OT4	0,23	3,5-5,0	-	-	-	-	(0,8...2,0)Mn
8	ПТЗВ	0,13	3,5-5,5	-	1,2-2,5	-	-	-
9	OT4-1 В	0,17	2,5-3,5		2,0-3,0			
10	OT4В	0,17	4,0-5,5	-	2,0-3,0	-	-	-
11	AT3	0,16	2,5-3,5				0,4...0,9	0,4Fe; 0,4Si
12	AT6	0,16	5,0-7,0				0,4...0,9	0,4Fe; 0,4Si
13	BT18Y	0,09	6,2-7,3	3,5-4,5	-	0,4-1,0	-	2,5Sn; 1Nb; 0,2S
14	BT20	0,18	5,5-7,0	1,5-2,5	0,8-2,5	0,5-2,0		

# Состав промышленных Ti-сплавов

№ п/ п	Сплав	K <sub>β</sub>	Содержание легирующих элементов, %					
			Al	Zr	V	Mo	Cr	другие элементы

## *(α+β)-сплавы*

15	BT6	0,27	5,5-6,8	-	3,5-4,5			
16	BT6K	0,27	5,5-6,8	-	3,5-5,3	-	-	-
17	BT6KГ	0,27	5,5-6,5		3,5-4,5	-	-	-
18	BT14	0,33	3,5-6,3	-	0,9-1,9	2,5-3,8		
19	BT16	0,75	1,8-3,8		4,0-5,0	4,5-5,5		
20	BT3-1	0,60	5,5-7,0	-		2,0-3,0	0,8-2,3	0,3Si; 0,5Fe
21	BT8	0,30	5,8-7,0	0,5	-	2,5-3,8	-	(0,2...0,4)Si
22	BT8M	0,36	5,8-7,0	1	-	4		0,2Si; 1Sn
23	BT9	0,30	5,8-7,0	1,0-2,0	-	2,8-3,8	-	(0,2...0,35)Si
24	BT25У	0,39	6,0-7,0	3,0-4,5		3,5-4,5	-	1Sn; 1W; 0,2Si
25	BT23	0,75	4,0-6,3	-	4,0-5,0	1,5-2,5	0,8- 1,4	(0,4...0,1)Fe

# Состав промышленных Ti-сплавов

№ п/ п	Сплав	K <sub>β</sub>	Содержание легирующих элементов, %					
			Al	Zr	V	Mo	Cr	другие элементы
<i>Сплавы переходного класса</i>								
26	BT22	1,1	4,0-5,9		4,0-5,5	4,0-5,5	0,5-2,0	(0,5...1,5)Fe
27	BT30	1,0		5,5		11		4,5Sn
<i>Псевдо-β -сплавы</i>								
28	BT19	1,45	2,5-3,5	0,5-1,5	3,0-4,0	5,0-6,0	5,0-6,0	
29	BT35	1.5	3	1	15	1	3	3Sn
30	BT32	2,0	3		8	8	1,3	1,3Fe