

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЁЖНОЙ ПОЛИТИКИ
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Свердловской области
«Верхнесалдинский авиаметаллургический колледж имени А.А. Евстигнеева»
(ГАПОУ СО «ВСАМК им. А.А. Евстигнеева»)

**Методическая разработка
по учебной дисциплине «Материаловедение»
на тему
«Электронный каталог титановых сплавов»**

Автор:

Ищик Екатерина Анатольевна
преподаватель ВКК ГАПОУ СО «ВСАМК им.
А.А. Евстигнеева»

Верхняя Салда

2022 г

Рецензия

Рецензируемая работа: Методическая разработка по учебной дисциплине «Материаловедение» на тему «Электронный каталог титановых сплавов» автора: преподаватель ВКК ГАПОУ СО «ВСАМК им. А.А. Евстигнеева» Ищик Екатерины Анатольевны

Необходимый материал по структуре титана и его сплавов находится в различных источниках. На сбор необходимой информации уходит много времени. Данный материал необходим для изучения учебной дисциплины «Материаловедение», для оформления практических, лабораторных работ а также необходим при написании курсовых проектов и дипломных работ колледже.

Методическая разработка позволит сократить время на поиски необходимого материала, как у студентов, так и у преподавателей колледжа.

Работа вызывает повышенный интерес у преподавателей колледжа.

Необходимо также отметить достоинства методической разработки: авторская работа.

Рецензент: *Ори / Олесеяевис С.В.*

*Исследовательский отдел по поддержке
технологий и инновационности
и высшего образования Корпорации
«Всеросс - Ассисо»*

Оглавление

Введение	3
1. Общая характеристика титановых сплавов	5
1.1 Общие сведения	5
1.2 Классификация титановых сплавов	7
1.3 Деформируемые титановые сплавы различных стран	9
1.4 Общая характеристика деформируемых титановых сплавов	15
2. Базы данных	43
Список литературы	48

Введение

В середине прошлого, XX века металлурги, технологи и конструкторы обратили внимание на новые металлы с особыми химическими, физическими, механическими и «экзотическими» свойствами в связи с потребностями новой техники, предъявлявшей к материалам необычные для того времени характеристики. В круг объектов исследований попали тугоплавкие, редкоземельные, радиоактивные и радиационно-стойкие материалы. Однако наибольший интерес как конструкционный материал вызвал титан из-за ряда уникальных его свойств: необычайно высокая коррозионная стойкость, значительные прочностные и пластические характеристики в сочетании со сравнительно небольшой плотностью. [3]

У титана довольно высокая температура плавления (1668°C); температура его кипения 3169°C . По плотности, равной $4,505 \text{ г/см}^3$ при комнатной температуре, он занимает промежуточное место между железом ($7,86 \text{ г/см}^3$) и алюминием ($2,7 \text{ г/см}^3$). Титан плохо проводит тепло и обладает значительным электросопротивлением. Коэффициент линейного расширения титана невелик: он меньше, чем у магния, алюминия, меди, железа, никеля. Титан и его сплавы не обладают ферромагнитными свойствами, они парамагнитны; плохо обрабатываются резанием. [1]

Титан обладает исключительно высоким сопротивлением коррозии, превышающим коррозионную стойкость нержавеющей сталей, что обусловлено образованием на его поверхности плотной оксидной пленки. Он активно реагирует лишь с четырьмя неорганическими кислотами: плавиковой, соляной, серной и ортофосфорной. Титан устойчив в разбавленной серной кислоте, уксусной и молочной кислотах, сероводороде, во влажной хлорной атмосфере, в царской водке и многих других агрессивных средах. Разбавленная и концентрированная азотная кислота, за исключением дымящей, также не действует на титан. Титан не взаимодействует со

многими пищевыми средами, соками, винами. Титан и его сплавы устойчивы во всех природных условиях: атмосфере, почве, пресной и морской воде, даже в условиях жаркого влажного морского климата. В морской воде за 4000 лет растворился бы слой титана, равный по толщине листу писчей бумаги. Титан и его сплавы совместимы со многими органическими веществами. Они устойчивы к солнечной радиации, не требуют специальной защиты от воздействия природных условий (например, окраски лаками). [1]

Для получения заданных механических свойств титан легируют алюминием, ванадием, марганцем, молибденом, хромом, железом и некоторыми другими элементами. Введение легирующих элементов в определенных сочетаниях и количествах, а также целенаправленное термическое воздействие позволяют изменять свойства сплавов в широких пределах. [2]

1. Общая характеристика титановых сплавов

1.1 Общие сведения

Чистый титан характеризуется невысокой прочностью ($\sigma_B = 250 \div 450$ МПа), высокой пластичностью ($\delta = 50 \div 60\%$, $\psi = 70 \div 90\%$) и технологичностью при обработке давлением, включая холодную штамповку. В связи с невысокой плотностью ($\rho \approx 4,5$ г/см³) он обладает преимуществами перед многими материалами по удельным прочностным характеристикам. Титан отличается высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах (щелочах, кислотах, щелочных и кислотных растворах) и других активных средах. Важные области его применения определяет высокая коррозионная стойкость в естественных средах, в том числе морской атмосфере и морской воде. Титан обладает рядом привлекательных теплофизических свойств, что обуславливает его применение в некоторых специфических областях техники.

Эффективность применения титана во многих назначениях можно значительно повысить легированием и методами термической обработки. Эти направления во многом определяются его полиморфизмом: как известно, до температуры 882,5°C титан обладает ГПУ структурой (α -фаза), выше 882,5°C до температуры плавления – ОЦК структурой (β -фаза).

По влиянию на полиморфизм титана все легирующие элементы делятся на три группы.

Первая группа представлена β -стабилизаторами - элементами, повышающими температуру полиморфного превращения титана. Из металлов к числу β -стабилизаторов относятся алюминий, галлий и индий; из неметаллов - углерод, азот и кислород.

Во вторую группу входят α -стабилизаторы - элементы, понижающие температуру полиморфного превращения титана. Их можно разбить на три подгруппы. В сплавах титана с элементами первой подгруппы при достаточно низкой температуре происходит эвтектоидный распад β -фазы $\beta \rightarrow \alpha + \gamma$. К чис-

ду таких элементов относятся кремний, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь - их называют эвтектоидообразующими β -стабилизаторами.

В сплавах титана с элементами второй подгруппы при достаточно высокой их концентрации α -раствор сохраняется до комнатной температуры, не претерпевая эвтектоидного распада. К числу этих элементов принадлежит ванадий, молибден, ниобий, тантал, вольфрам. Поскольку они образуют непрерывные растворы с α -титаном, их называют β -изоморфными стабилизаторами.

В сплавах третьей подгруппы равновесная α -фаза также стабилизируется при комнатной температуре, но непрерывных β -твердых растворов не образуется, так как не соблюдается принцип изоморфности взаимодействующих элементов. К элементам этой подгруппы относятся рений, рутений, родий, осмий, иридий. Их можно назвать квазиизоморфными β -стабилизаторами.

Третья группа представлена легирующими элементами, мало влияющими на температуру полиморфного превращения титана. К ним принадлежат олово, цирконий, германий, гафний, торий. Эти элементы называют нейтральными упрочнителями.

Общая классификация легирующих элементов и примесей в титане приведена на рис. 1, на котором показано их распределение по различным группам. Кроме того, элементы разбиты на две группы по типу растворов, которые они дают с титаном: элементы замещения и элементы внедрения.[1]

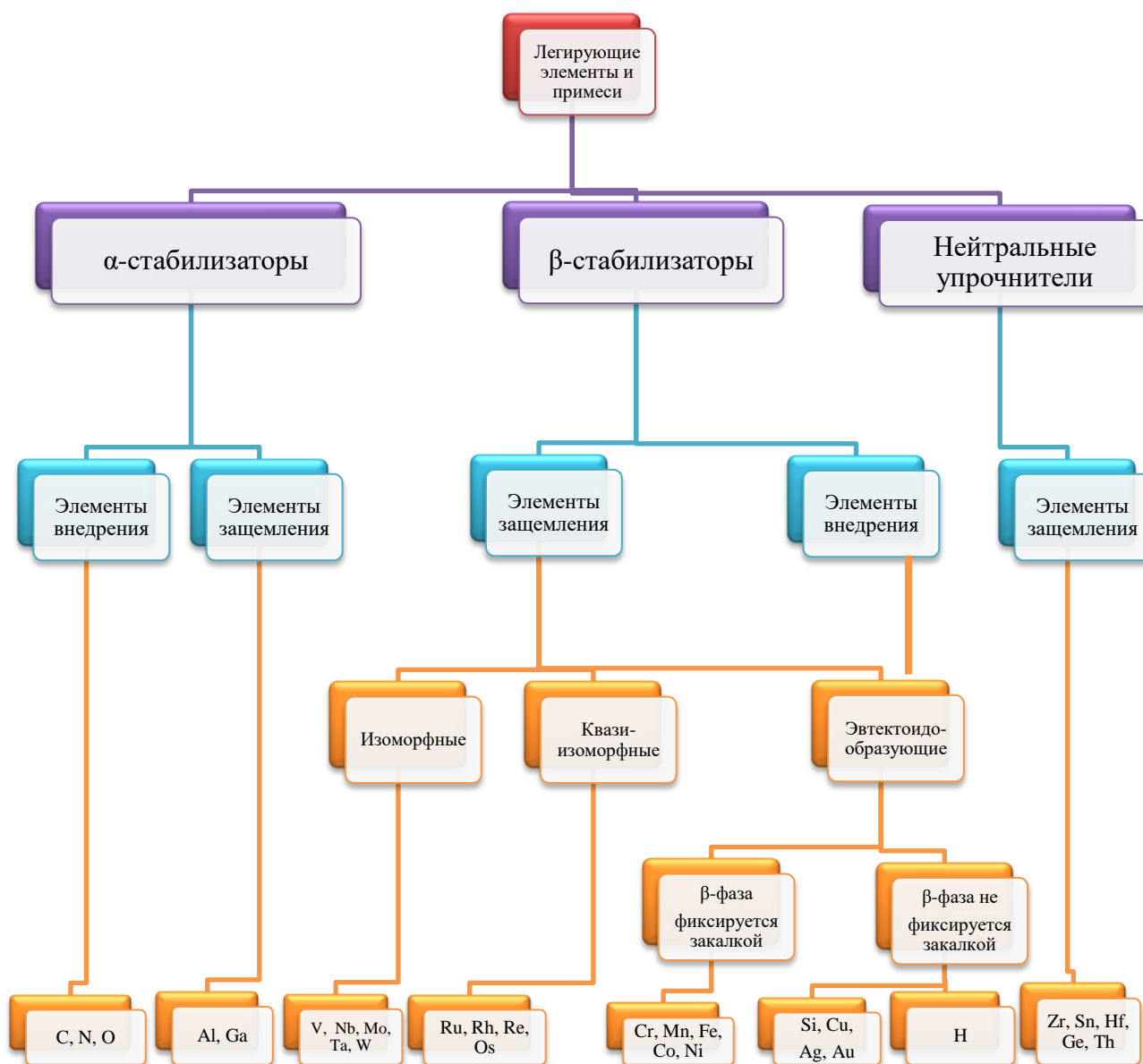


Рисунок 1 – Классификация легирующих элементов и примесей в титане

1.2 Классификация титановых сплавов

Титановые сплавы классифицируют по различным признакам. Наиболее распространена классификация сплавов по фазовому составу.

Она включает:

1. α -сплавы, структура которых представлена α -фазой.
2. Псевдо- α -сплавы, структура которых представлена α -фазой и небольшим количеством β -фазы или интерметаллидов (не более 5 %).
3. $(\alpha+\beta)$ -сплавы, структура которых представлена α - и β -фазами; сплавы этого типа также могут содержать небольшое количество

интерметаллидов.

4. Псевдо- β -сплавы со структурой, представленной одной β -фазой после закалки или нормализации из β -области. Их химический состав превышает вторую критическую концентрацию. Структура этих сплавов в отожженном состоянии представлена α -фазой и большим количеством β -фазы.

5. β -сплавы, структура которых представлена термодинамически стабильной β -фазой.

6. Сплавы на основе интерметаллидов.

По способности упрочнения при старении титановые сплавы можно разделить на:

- а) термически неупрочняемые;
- б) термически упрочняемые.

По стабильности β -фазы после закалки из β -области можно выделить три подгруппы титановых сплавов:

- 1) с механически нестабильной β -фазой;
- 2) с механически стабильной β -фазой;
- 3) с термодинамически стабильной β -фазой.

По способу производства различают деформируемые, литейные и порошковые (гранулированные) титановые сплавы.

По назначению титановые сплавы разделяют на:

- 1) конструкционные (общего назначения);
- 2) жаропрочные;
- 3) криогенные;
- 4) коррозионно-стойкие;
- 5) функциональные.

По уровню прочности различают сплавы:

- 1) малопрочные - относятся сплавы с временным сопротивлением разрыву менее 650 МПа;
- 2) сплавы средней прочности - относятся сплавы от 700 до 1000 МПа;

3) высокопрочные - относятся сплавы более 1000 МПа. [2]

1.3 Деформируемые титановые сплавы различных стран

По фазовому составу титановые деформируемые сплавы охватывают все перечисленные выше классы: α -, псевдо- α , ($\alpha+\beta$)-сплавы переходного класса, псевдо- β -сплавы, β -сплавы.

Отечественные сплавы (табл. 1) обычно маркируют буквой, отражающей наименование организации-разработчика, и цифрой, соответствующей порядковому номеру сплава.

Марка ВТ означает «ВИАМ титан».

ОТ - опытный титан; это сплавы, разработанные совместно ВИАМом и Верхнесалдинским металлургическим производственным объединением (ВСМПО).

ПТ - «Прометей титан», сплавы, разработанные ЦНИИ КМ «Прометей».

Иногда марка сплава содержит дополнительные буквы:

У - улучшенный;

М - модифицированный;

И - специального назначения;

Л - литейный сплав;

КТ - криогенного назначения;

ч - повышенной чистоты,

с - специально предназначенный для сварных соединений. [3]

Таблица 1 – Эквиваленты легирующих элементов по алюминию и молибдену в отечественных промышленных титановых сплавах

№ п/п	Марка сплава	Средний химический состав, % мас.	[Al] _{ЭКВ} , %	[Mo] _{ЭКВ} , %
1	2	3	4	5
α-сплавы				
1	BT 1-00	0 ₂ -0,10; N-0,04; C-0,05; Si-0,08; Fe-0,20 *	0,8	-
2	BT 1-0	0 ₂ -0,12; N-0,04; C-0,07; Si-0,10; Fe-0,20 *	1,2	-
3	BT5-1	5Al-2,5Sn	6,8	-
4	ПТ7М	2,2Al-2,5Zr	3,6	-
Псевдо-α-сплавы				
5	OT4-0	0,8Al-0,8Mn	1,8	1,3
6	OT4-1	1,5Al-1Mn	2,5	1,7
7	OT4	4Al-1,5 Mn	5,0	2,5
8	ПТЗВ	4Al-2V	5,0	1,4
9	OT4-1B	3Al-2V	4,0	1,4
10	OT4B	4,5Al-2,5V	5,5	1,8
11	AT3	3Al-0,7Cr-0,4Fe-0,4Si	4,0	2,2
12	AT6	6Al-0,7Cr-0,4Fe-0,4Si	7,0	2,2
13	BT18Y	6,5Al—4Zr-2,5Sn-0,6Mo-1Nb-0,15Si	9,0	1,0
14	BT20	6,5Al-2Zr-1Mo—1V	7,8	1,7
(α+β)-сплавы				
15	BT6	6Al—4,5V	7,0	3,2
16	BT6c	5 Al—4 V	6,0	2,9
17	BT6кТ	6Al-4V	7,0	2,9
18	BT14	5Al-3Mo-1,4V	6,0	4,0
19	BT8	6,5Al-3,3Mo-0,30 Si	7,5	3,3
20	BT8M	6,3Al-1Sn-1Zr-3,3Mo-0,15Si	7,8	3,3
21	BT9	6,4Al-1,5Zr-3,4Mo-0,25Si	7,7	3,4
22	BT25Y	6,5Al-1,8Sn-3,8Zr-4Mo-1 W-0,2Si	8,7	4,5
23	BT36	6,2Al-2Sn-3,6Zr-0,7Mo-5W-0,1 5Si	8,5	3,2

1	2	3	4	5
24	BT3-1	6,3 Al-2,5Mo-1,5Cr-0,5Fe-0,3Si	7,3	6,3
25	BT23	5,5Al-2Mo—4,5V-1Cr-0,6Fe	6,5	8,4
26	BT16	3Al-4,5V-5Mo	4,0	8,2
Сплавы переходного класса				
27	BT22	5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe	6,0	12,7
28	BT22И	3Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe	4,0	12,7
29	BT30	1 1,5Mo-6Zr-4,5 Sn	3,5	11,5
Псевдо-β-сплавы				
30	BT35	15V-3Cr-3Al-3Sn-1Zr-1Mo	5,2	16,7
31	BT 19	5,5Mo-5,5Cr-3,5V-3Al-1Zr	4,2	17,2
32	BT32	8Mo-8V-1,2Cr-1,2Fe-3Al	4,0	18,7
33	BT 15	Ti-1 1Cr-7Mo-3Al	4,0	25,3
β-сплавы				
34	4201	Ti-33Mo	1,0	33,0
* Максимально допустимое содержание примесей.				

Для морского применения, в связи со спецификой, ЦНИИ КМ «Прометей» разработал сплавы, не совпадающие по составу со сплавами авиакосмического и общего назначения (табл. 2). [3]

Таблица 2 – Отечественные титановые деформируемые сплавы морского назначения

Сплав	Класс сплава	Химический состав, % мас.				[Al] _{ЭКВ} , %	[Mo] _{ЭКВ} , %
		Al	Zr	V	Mo		
ЗМ	<i>α</i>	3,5-5,5	-	-	-	5,5	0
ПТ-1М	<i>α</i>	0,2-0,7	<0,3	-	-	1,5	-
ПТ-7М	<i>α</i>	1,8-2,5	2,0-3,0	-	-	3,6	-
ПТ-38	Псевдо- <i>α</i>	3,5-5,0	-	1,2-2,5	-	5,3	1,4
5В	Псевдо- <i>α</i>	4,7-6,3	<0,1	1,0-1,9	0,7-2,0	6,5	2,4

Сплавы США общего назначения (табл. 3), поставляемые по стандартам ASTM (Американского общества испытаний материалов), маркируют словом сорт (Grade) и порядковым номером. Сплавы авиационного назначения, поставляемые по AMS (спецификации авиационных материалов), обозначают цифрами и буквенными индексами, которые характеризуют номинальный состав сплава. Сплавы военного назначения по спецификации MIL обозначают буквами А, АВ и В (α -, ($\alpha+\beta$)- и β -сплавы соответственно) и порядковыми номерами. [3]

Таблица 3 - Эквиваленты легирующих элементов по молибдену и алюминию американских сплавов

Класс сплава	Марка сплава	Химический состав, % мас.	[Mo] _{ЭКВ} , %		[Al] _{ЭКВ} , %
			[0]	[3]	
1	2	3	4	5	6
Нелегированный титан*	High-purity Ti	Ti-0,001C; 0,002N; 0,06O ₂ ; 0,005Si; 0,002Fe	0	0	0,6
	Grade 1	Ti-0,10C; 0,03N; 0,18O ₂ ; 0,20Fe	0	0	1,8
	Grade 2	Ti-0,1 OC; 0,03N; 0,25O ₂ ; 0,30Fe	0	0	2,5
	Grade 3	Ti-0,10C; 0,05N; 0,35O ₂ ; 0,30Fe	0	0	3,5
	Grade 4	Ti-0,10C; 0,05N; 0,40O ₂ ; 0,50Fe	0	0	4
α - и псевдо- α -сплавы	Grade 7	Ti-0,2Pd	0,4***	0,4***	1,0
	Grade 12	Ti-0,3Mo-0,8Ni	1,3	1,3	1,0
	Ti-51111	Ti-5Al-1Sn-1Zr-1V-0,8Mo	1,5	1,5	6,5
	Grade 9	Ti-3Al-2,5V	1,8	1,7	4,0
	Ti-5-2,5	Ti-5Al-2,5Sn	0,0	0,0	6,8
	Ti-621/0,8	Ti-6Al-2Nb-1Ta-0,8Mo	1,7	1,6	7,0
	Ti-5522S	Ti-5Al-5Sn-2Zr-2Mo-0,25Si	2,0	2,0	8,0
	Ti-6242S	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,08Si	2	2,0	8,3
	Ti-5621S	Ti-5Al-6Sn-2Zr-1Mo-0,25Si	1	1,0	8,3
	Ti-1100	Ti-6Al-2,75Sn-4Zr-0,4Mo-0,45Si	0,4	0,4	8,6
	Ti-811	Ti-8Al-1Mo-1V	1,7	1,7	9,0
$(\alpha+\beta)$ -сплавы	2	3	4	5	6
	Ti 64	Ti-6Al-4V	2,9	2,7	7,0
	RMI Low	Ti-6,4Al-1,2Fe	3,0	3,4	7,4

	cost allow				
	Ti-431	Ti-4Al-3Mo-1 V	3,7	3,7	5,0
	Ti 56740	Ti-7Al-4Mo	4	4,0	8,0
	Ti-662	Ti-6Al-6V-2Sn	4,3	4,0	7,7
	62 S	Ti-6Al-1,7Fe-0,1 Si	4,3	4,8	7,0
	Ti-6-22-22S	Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0,25Si	5,3	4,5	8,0
	Corona-5	Ti-4,5Al-5Mo-1,5Cr	6,0	6,9	8,3
	Ti 6246	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	6,0	6,0	8,3
	SP-700	Ti—4,5Al-3V-2Mo-2Fe	9,1	9,7	5,5
Псевдо-β-сплавы	Transage 129	Ti-1 1,5V-2Al-2Sn-11Zr	8,2	7,7	5,5
	Transage 134	Ti-12V-2,5Al-2Sn-6Zr	8,6	8,0	6,2
	Transage 175	Ti-13V-2,7Al-7Sn-2Zr	9,3	8,7	6,4
	Ti-17	Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr	10,7	9,0	7,0
	-	Ti-16V-2,5Al	11,4	10,7	3,5
	Beta-III	Ti-11,5Mo-6Zr-4,5Sn	11,5	11,5	3,5
	Ti-10-2-3	Ti-10V-2Fe-3Al	12,1	12,4	4,0
	Ti-15-3	Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	15,7	14,8	5,0
	Beta-2 IS	Ti-15Mo-3Al-2,7Nb-0,25Si	15,8	15,8	4,0
	Ti 555	Ti-5 Al-5 Mo-5 V-3 Cr-1 Fe	16,1	15,9	6
	TMZF	Ti-12Mo-6Zr-2Fe	17,0	17,7	2
	Beta C	Ti-8V-6Cr-4Mo-1Zr-3Al	19,7	18,9	4,7
	Ti-8823	Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al	18,7	18,3	4,0
		Ti-8V-5Fe-1Al	18,2	19,6	2,0
	Timetal 125	Ti-6V-6,2Mo-5,7Fe-3Al	24,8	26,5	4,0
	Ti-13-11-3	Ti-13V-1 1Cr-3Al	27,6	26,1	4,0
* Указано максимальное содержание примесей.					
** [O]-расчет по уравнению (1.2); [3] - по уравнению (1.3).					
*** Для системы Ti—Pd принято $C_{кр} = 5,5 \%$.					

В таблице 4 приведен химический состав сплавов, поставляемых в соответствии со спецификацией ASTM B348-97. По этой спецификации поставляются сплавы не только в США, но и в других странах мира, в том

числе и России, в частности, на экспорт.

Таблица 4 - Химический состав титановых сплавов в соответствии со спецификацией ASTM B348-97

Марка сплава	Химический состав, % мас.					
	Al	V	Pd	Ru	Ni	Другие элементы
Grade 1	-	-	-	-	-	Нелегированный титан
Grade 2	-	-	-	-	-	Нелегированный титан
Grade 3	-	-	-	-	-	Нелегированный титан
Grade 4	-	-	-	-	-	Нелегированный титан
Grade 5	6	4	-	-	-	-
Grade 6	5	-	-	-	-	2,5 Sn
Grade 7	-	-	0,12-0,25	-	-	-
Grade 9	3	2,5	-	-	-	-
Grade 11	-	-	0,12-0,25	-	-	-
Grade 12	-	-	-	-	0,8	0,3 Mo
Grade 13	-	-	-	0,05	0,5	-
Grade 14	-	-	-	0,05	0,5	-
Grade 15	-	-	-	0,05	0,5	-
Grade 16	-	-	0,04-0,08	-	-	-
Grade 17	-	-	0,04-0,08	-	-	-
Grade 18	3	2,5	0,04-0,08	-	-	-
Grade 19	3	8	-	-	-	6Cr; 4Zr; 4Mo
Grade 20	3	8	0,04-0,08	-	-	6Cr; 4Zr; 4Mo
Grade 21	3	-	-	-	-	15Mo; 3,5Al; 2,7Nb; 0,25Si
Grade 23	6	4	-	-	-	ELI
Grade 24	6	4	0,04-0,08	-	-	-
Grade 25	6	4	0,04-0,08	-	0,3-0,8	-
Grade 28	3	2,5	-	0,08-0,14	-	-
Grade 29	6	4	-	0,08-0,14	-	ELI
Grade 30	-	-	0,05	-	-	0,3 Co
Grade 31	-	-	0,05	-	-	0,3 Co

1.4 Общая характеристика деформируемых титановых сплавов

Наиболее чистый титан получают иодидным и электролитическим способами. При этом содержание примесей в нем составляет (% массе).

	C	N	O	Fe	Si	Zr	Cl	Mn	Ti
иодный	0,001	0,002	0,03- 0,06	0,002	0,005	0,05	0,002	0,003	99,87
электролитический	0,008	0,004	≤0,037	0,009	0,002	<0,001	0,073	≤0,001	99,837

Титан высокой чистоты отличается высокой пластичностью и небольшими прочностными свойствами. Титан, полученный электролитическим рафинированием, с содержанием (% массе): 0,021 O₂; 0,004 N₂; 0,015 C; <0,005 F и <0,04 Al имеет $\sigma_B = 234$ МПа; $\sigma_{0,2} = 105$ МПа; $\delta = 55\%$.

Технический титан подразделяют на 2-4 сорта в зависимости от содержания примесей. Максимально допустимое содержание углерода, азота и кремния во всех марках технического титана примерно одинаково, но содержание железа и кислорода существенно возрастает с понижением чистоты титана. Типичное содержание примесей в титановых сплавах составляет (% массе): 0,15 Fe; 0,02 C; 0,10 O₂; 0,01 N; 0,05 Si.

Общая характеристика α - и псевдо- α -сплавов представлена в табл. 5 и 6. [3]

Таблица 5 – Отечественные титановые α - и псевдо- α -сплавы

Сплав	Общие сведения	Плотность	Температура полиморфного превращения	Общая характеристика	Структура. Термическая обработка	Полуфабрика т	Технология	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT5 (Ti-5 Al)	Один из первых отечественных промышленных сплавов. Разработан ВИАМом в начале 1950-х гг. Литейный вариант сплава-BT5Л.	4,40 г/см ²	T _{пп} = 980-1030 °С	Сплав средней прочности при невысокой технологической пластичности. Алюминий повышает прочность и жаропрочность, но снижает технологичность	Однофазный сплав с α -структурой. Термической обработкой не упрочняется	Прутки, поковки, штамповки, фасонное литье, полые профили, сварные кольцевые детали	Невысокая технологическая пластичность при обработке давлением. Хорошо сваривается всеми видами сварки. Хорошие литейные свойства	Детали и конструкции, работающие длительно до 350-400 °С
T5-1 (Ti-5Al-2,5Sn)	Аналог зарубежного сплава Ti-5Al-2,5Sn; предложен ВИАМом в 1958 г.	4,42 г/см ²	T _{пп} = 950-990 °С	Сплав средней прочности. Алюминий и олово повышают прочностные и жаропрочные свойства. Олово повышает технологичность при обработке давлением. Сплав BT5-1кts пониженным содержанием примесей предназначен для работы при криогенных температур	Однофазный сплав с α -структурой. Термической обработкой не упрочняется	Плиты, листы, лента, поковки, штамповки	При литье слитков возникают некоторые трудности при введении олова	Детали и конструкции авиационной техники, работающие до 400- 450°С. Сплав BT5-1кт применяют в криогенной технике (крыльчатки насосов для подачи жидкого водорода)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПТ 7М (Ti-2,2 Al- -2,5Zr)	Сплав разработан ЦНИИ «Прометей» в 1950-х гг.	4,49 г/см ³		Сплав малой плотности и высокой технологичности. Алюминий и цирконий обеспечивают растворное упрочнение. Обладает высокой коррозионной стойкостью в морской воде	Однофазный сплав с α-структурой. Термической обработкой не упрочняется	Листы, поковки, штамповки, трубы	Хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях, хорошо сваривается всеми видами сварки	Трубопроводы, работающие при комнатной и повышенных (до 400-450 °С) температурах в агрессивных средах
ОТ4-0 (Ti-0,8Al-0,8Mn)	Сплав предложен ВИАМом в 1963 г. как высокотехнологичный при обработке давлением.	4,51 г/см ³	T _{пп} =860-930 °С	Сплав малой прочности и высокой технологичности. Марганец повышает технологичность при горячей обработке давлением	Сплав псевдо-α-класса с небольшим количеством β-фазы. Термически не упрочняется	Листы, лента, полосы, прутки, поковки, штамповки	Хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях, допускает штамповку при комнатной температуре. Хорошо сваривается	Детали, для изготовления которых требуется высокая технологичность при холодной штамповке
ОТ4-1 (Ti-1,5Al-1,0Mn)	Сплав предложен ВИАМом в конце 1950-х гг.	4,55 г/см ³	T _{пп} =910-950 °С	Сплав системы Ti-Al-Mn обладает средней прочностью и высокой технологичностью	Сплав псевдо-α-класса с небольшим количеством (3-фазы). Термически не упрочняется	Листы, лента, полосы, прутки, поковки, штамповки, плиты, кольцевые детали, трубы, проволока	Хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях, хорошо сваривается всеми видами сварки	Конструкционный и обшивочный материал, тонкостенные детали сложных форм

1	2	3	4	5	6	7	8	9
OT4 (Ti-4Al-1,5Mn)	Сплав разработан ВИАМом и Верхнесалдинским металлургическим заводом в 1957 г.	4,55 г/см ³	T _{пп} =920-960°C	Сплав средней прочности. Повышенное содержание алюминия по сравнению со сплавами OT4-0 и OT4-1 привело к увеличению прочности, снижению технологичности	Сплав псевдо-α-класса. Термически не упрочняется	Листы, лента, полосы, прутки, поковки, штамповки, панели, профили, полые профили, кольцевые детали	Сплав хорошо деформируется в горячем состоянии и ограниченно - в холодном. Штамповку деталей сложной формы осуществляют с подогревом. Хорошо сваривается	Конструкционный и обшивочный материал, штамповки, детали самолета и ГТД, работающие длительно до 350-400°C
OT4-1B (Ti-3Al-2,5V)	Сплав разработан ВИАМом в 1980-х гг. как замена сплава OT4-1.	4,55 г/см ³		Малопрочный, высокотехнологичный сплав, аналог сплава OT4-1	Сплав системы Ti-Al-V обладает меньшей склонностью к водородной хрупкости по сравнению с эквивалентными сплавами системы Ti-Al-Mn	Все виды полуфабрикатов	Сплав хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях. Хорошо сваривается	Самолетные детали, изготовление которых требует хорошей технологичности в холодном состоянии OT4B
Ti-5Al-2,5V	Сплав разработан ВИАМом в 1980-х гг. как замена сплава OT4			Сплав средней прочности и высокой технологичности	Обладает меньшей склонностью к водородной хрупкости по	Все виды полуфабрикатов	Технологические свойства такие же, как у сплава OT4	Самолетные детали, изготовление которых требует высокой технологичности

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПТ-38 Ti-4Al-2V	Сплав разработан в ЦНИИ «Прометей».	4,5 г/см ³	T _{пп} =960-980°C	Сплав средней прочности и высокой технологичности; обладает высокой коррозионной стойкостью. Вариант сплава ПТ-3Вкт предназначен для работы при криогенных температурах	Сплав с небольшим количеством β-фазы. Термически не упрочняется	Все виды полуфабрикатов	Высокая технологичность при горячей и холодной обработке давлением, хорошо сваривается	Валы, лопатки паровых турбин, корпуса химических реакционных колонок, ферменные сварные конструкции, подводные крылья
АТЗ (Ti-3Al-1,5Cr-Fe, Si)	Сплав разработан в ИМЕТе АН СССР в конце 1950-х гг.	4,50 г/см ³	T _{пп} =940-1000°C	Сплав средней прочности, относится к системе Ti-Al-Fe-Cr-Si; обладает высокой коррозионной стойкостью	Псевдо-α-сплав с небольшим количеством β-фазы. Сплав термически не упрочняется	Листы, прутки, поковки, трубы	Сплав хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии, хорошо сваривается	Химическое оборудование, аппаратура гидролизного производства, трубы глубокого и сверхглубокого бурения
АТ6 (Ti-6Al-1,5Cr-Fe, Si)	Сплав разработан в ИМЕТе АН СССР в конце 1950-х гг.	4,40 г/см ³	T _{пп} =1030°C	Ввиду большого содержания Al прочнее сплава АТЗ; обладает высокой коррозионной стойкостью	Псевдо-α-сплав. Термически не упрочняется	Прутки, листы, поковки, штамповки	Сплав удовлетворительно обрабатывается давлением, удовлетворительно сваривается	Коррозионно-стойкие конструкционные материалы
ВТ20 (Ti-6,5Al-1Mo-1V-2Zr)	Сплав разработан в ВИАМе в 1965 г., обладает несколько более высокой прочностью по сравнению с ВТ6.	4,40 г/см ³	T _{пп} =980-1020°C	Довольно высокое содержание алюминия обеспечивает значительную прочность и жаропрочность сплава	Сплав применяется в отожженном состоянии.	Прутки, листы, плиты, поковки, штамповки, профили, кольцевые детали,	Сплав хорошо деформируется в горячем состоянии, хорошо сваривается всеми видами сварки	Обшивка крыла, корпусные детали, детали ГТД, сварные узлы, работающие до 400-450 °С

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT18Y (Ti-6,5Al-2,5Sn-4Zr-1Nb-0,7Mo-0,15Si)	Сплав BT 18 разработан в ВИАМе в 1972 г. как жаропрочный материал для работы при температурах до 600 °С. Сплав BT18Y - усовершенствованный вариант сплава BT 18.	4,55 г/см ³	T _{пп} =990-1030°С	Наиболее жаропрочный титановый сплав. Высокие характеристики жаропрочности обеспечивают большие содержания алюминия, нейтральных упрочнителей и легирование кремние	Сплав термически не упрочняется. Оптимальное сочетание свойств обеспечивает двойной отжиг. Пластические свойства и технологичность При обработке давлением ниже, чем у сплавов типа OT4	Прутки, поковки, штамповки, листы	Сплав удовлетворительно деформируется в горячем состоянии	Детали газотурбинных двигателей (компрессоры высокого давления), работающих при 550-600 °С

Таблица 6 – Титановые α - и псевдо- α -сплавы, применяемые за рубежом

Сплав	Общие сведения	Плотность	Температура полиморфного превращения	Общая характеристика	Структура. Термическая обработка	Полуфабрика т	Технология	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ti-5Al-2,5Sn Ti-5Al-2,5Sn ELI	Разработан институтом Баттелла для фирмы Рем-Крю (позднее Crucible Steel). Промышленное производство началось в 1950-х гг. Один из первых промышленных сплавов.	4,48 г/см ³	T _{пп} =955-985°C	Сплав средней прочности. Алюминий, олово и примеси внедрения повышают прочность и снижают вязкость разрушения. Сплав с пониженным содержанием примесей (ELI) может работать до-235 °С	Сплав с α -структурой. Применяют только в отожженном состоянии	Прутки, плиты, листы, лента, проволока, поковки, профили	Отлично сваривается. Модификация сплава ELI трудно поддается горячей обработке давлением, особенно при переходе от слитка к слябу	Ti-5Al-2,5Sn - кольца для авиационных двигателей, детали планера самолета, химическое оборудование и другие детали с рабочей температурой до 480 °С. Топливные баки ракет и космических кораблей, сосуды высокого давления, детали планера самолета и двигателей.
IMI 230 (Ti-2,5 Si)	Разработан в Англии. Максимальная рабочая температура 350 °С.	4,56 г/см ³	T _{пп} =895±10 °С	Содержание меди примерно соответствует ее растворимости при эвтектоидной температуре. При понижении температуры растворимость меди снижается почти до нуля при 25 °С	Применяют в отожженном и термически упроченном состоянии. Закалка и старение примерно на 25 % повышают прочностные свойства	Сутунки, прутки, профили, листы, проволока	Отличается высокой технологичностью в закаленном состоянии. Легко обрабатывается давлением в горячем состоянии (800-850 °С). Хорошо сваривается	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grade 9 Ti-3Al- 2,5V	Разработан для замены сплава Ti-6Al-4V в применениях, требующих высокой способности к холодной деформации	4,48 г/см ³	T _{ПП} =935±10 °С	Сплав псевдо- α-класса. По содержанию алюминия и ванадия - половинный сплав Ti-6AlV. Обладает промежуточной прочностью между сплавом Ti-6Al-4V и прочностью титана	Применяют в нагартованном состоянии после отжига для снятия напряжений и в отожженном состоянии. Обладает высокой коррозионной стойкостью во многих средах, включая морскую воду	Фольга, лента, трубы, листы, плиты, поковки	Способен к деформации при комнатной температуре. Хорошо сваривается	Трубы гидравлической и топливной системы самолетов и ракет (Конкорд, Боинг 767), подводных лодок, сотовые конструкции, автомобили, спортивный инвентарь, клюшки для гольфа, теннисные ракетки, велосипедные рамы, хирургические и стоматологические имплантаты
Ti-3Al-2V- S	Сплав разработан компанией Daidosteel (Япония)			Псевдо-α-сплав легирован серой и РЗМ для улучшения обработки резанием	Сплав применяют в отожженном состоянии, прочность сплава невысока	Фольга, лента, трубы, листы, плиты, поковки	Хорошо деформируется	Трубы гидравлической и топливной системы самолетов и ракет, подводных лодок, сотовые конструкции, автомобили, спортивный инвентарь, клюшки для гольфа, теннисные ракетки

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ti—621 /0,8 (Ti-6Al-2Nb-1Ta-0,8Mo)	Сплав разработан в 1956 г. для применения в конструкции глубоководных подводных лодок	4,48 г/см ³	T _{пп} =1015±15 °С	Сплав псевдо-α-класса средней прочности. Обладает высокой вязкостью разрушения и высоким сопротивлением коррозионному растрескиванию в морской соленой воде	Для обеспечения оптимальной вязкости разрушения содержание кислорода должно быть меньше 0,10 %, содержание других примесей внедрения минимально. Применяется, в основном, в состоянии поставки или отжига	Прутки, плиты, проволока, профили, сутунки	Горячая деформация в (α+β)-области встречается с трудностями, обусловленными сравнительно высокой склонностью к горячему растрескиванию. Хорошо сваривается	Корпуса кораблей, гидросферы, сосуды глубокого погружения, подводные лодки, сосуды высокого давления и другие элементы конструкций, требующие высокой вязкости
IMI 367 (Ti-6Al-7Nb)	Сплав разработан для применения в качестве имплантатов	4,52 г/см ³	T _{пп} =1010±10 °С	Сплав высокой прочности с превосходной биологической совместимостью	Применяется после отжига	Прутки	Технологические свойства такие же, как у сплава Ti-6Al-4V	Хирургические имплантаты, эндопротезы, протезы суставов бедра или колена
Ti-5621S (Ti-5 Al-6Sn-2Zr-1Mo-0,25Si)	Полупромышленный сплав, разработанный в 1960-х г.	4,55 г/см ³	T _{пп} =1010±14 °С	Сплав обладает хорошей длительной прочностью при высоком сопротивлении ползучести, что обеспечивается удачным содержанием Al, Sn, Zr, малым содержанием (3-стабилизатора (Mo) и легированием кремнием	Излишне большое содержание алюминия, олова, циркония и примесей внедрения снижают термическую стабильность.	Поковки, прутки, плиты, листы (поставляются по спецзаказу)	Режимы деформации в (α+β)-области должны строго контролироваться во избежание растрескивания	Авиационные двигатели

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ti-5522-S (Ti-5Al-5Sn-2Zr-2Mo-0,25Si)	Полупромышленный сплав, разработан РМ1 в начале 1970-х г. для деталей ГТД, работающих при температурах 425- 540 °С. Плотность, $T_{\text{ПП}}^{\wedge}80115^{\circ}\text{C}$	4,51 г/см ³	$T_{\text{ПП}}=980\pm 15^{\circ}\text{C}$	Псевдо- α -сплав с небольшим содержанием β -стабилизаторов (Мо). Обладает хорошим сочетанием прочности и сопротивления ползучести в интервале температур 425- 540 °С	Закалкой и старением не упрочняется. Применяется в отожженном состоянии. Излишне большое количество молибдена снижает термическую стабильность сплава и повышает способность к термическому упрочнению	Поковки, прутки, плиты, листы	Листовую штамповку можно осуществлять при комнатной температуре или при нагреве до 540- 700 °С. Сплав сваривается	Детали ГТД
Ti-6242Si (Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,08Si)	Сплав разработан в конце 1960-х г. как материал повышенной жаропрочности; один из наиболее жаропрочных сплавов. Рекомендуется для работы при температурах до 565 °С.	4,54 г/см ³	$T_{\text{ПП}}=995\pm 15^{\circ}\text{C}$	Сплав псевдо- α -класса. Алюминий, олово и цирконий вызывают растворное упрочнение; молибден стабилизирует небольшое количество Р-фазы. Кремний повышает сопротивление ползучести	Сплав отличается высоким сочетанием прочности, сопротивления ползучести, вязкости и термической стабильности. Для повышения сопротивления ползучести требуется специальная термическая обработка	Сутунки, прутки, плиты, листы, лента, профили	Некоторые операции формовки можно выполнять при комнатной температуре, теплая формовка осуществляется при 425-705 °С. Сплав хорошо сваривается	Детали компрессора газотурбинного двигателя (диски, лопатки, крыльчатки), листовые детали конструкции двигателя, «горячие» детали планера самолета, кораблестроение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ti-11 (Ti-6Al-2Sn-1,5Zr-1Mo-0,35Bi-0,1Si)	Разработан Т1 МЕТ с целью достижения более высокой жаропрочности по сравнению с серийными сплавами.	4,5 г/см ³	T _{пп} =980-1050°C	Единственный титановый сплав, легированный висмутом	Сплав обладает нестабильностью		В настоящее время не производится, так как дополнительные затраты на производство превышают достигнутые технические преимущества	
Timetal 1100 (Ti-6Al-2,75Sn-4Zr-0,4Mo-0,45Si)	Разработан в 1988 г. фирмой ТИМЕТ (США) для высокотемпературных областей применения вплоть до 600 °С. Модификация довольно широко применяемого сплава Ti-6242Si	4,5 г/см ³	T _{пп} =1015°C	Сплав псевдо-α-класса высокой жаропрочности. Содержание легирующих элементов соответствует наибольшим характеристикам жаропрочности. При большом содержании алюминия, олова и кремния снижается термическая стабильность. Высокое содержание циркония необходимо для обеспечения равномерного выделения силицидов	Предназначен в основном для применения после β-деформации и/или отжига при температурах Р-области для обеспечения наибольшего сопротивления ползучести. Для ряда применений поставляется также в состоянии с равноосной структурой. Отличается пониженной вязкостью	Сутунки, прутки, фольга, сварочная проволока	Для обеспечения наибольшего сопротивления ползучести необходимо поддерживать очень низкие концентрации железа (<0,02%), что требует применения очень чистой губки; обеспечение высокого содержания кремния требует специального контроля режимов плавки	Диски компрессора высокого давления, лопатки турбин низкого давления, автоматические клапаны, детали вертолетов (выхлопные устройства)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
IMI 417 (Ti-6AlSn-3,5Zr-0,7Nb-0,5Mo-0,35Si-0,06C)	Первый из серии супержаропрочных псевдо- α -титановых сплавов, приведших к разработке сплава IMI 834			Псевдо- α -сплав высокой жаропрочности (до 600 °С). Содержание алюминия, олова, циркония близко к оптимальным значениям, определяемым термической стабильностью	Характеристики жаропрочности максимальны после обработки на твердый раствор при 1020-1025 °С (охлаждение в масле) и старения при 625-700 °С, 2 ч	Деформированные полуфабрикаты		Детали газотурбинных двигателей
IMI 679 (Ti-11Sn-5Zr-2,25Al-1Mo-0,25Si)	Сплав внедрен в 1961 г. как высоко-температурный материал для деталей турбореактивных двигателей, но позднее был вытеснен другими сплавами, такими как Ti-6242S (1974 г.). Максимальная рабочая температура 450 °С.	4,84 г/см ³	T _{пп} =950±10° С	Псевдо- α -сплав повышенной жаропрочности. Для сплава характерно малое содержание алюминия и большое содержание олова и циркония, значительно упрочняющих сплав. Значительный вклад в упрочнение при всех температурах вносит легирование кремнием	Наилучшее сочетание сопротивления ползучести и пластичности обеспечивает обработка на твердый раствор при 900 °С с охлаждением на воздухе + старение при 500 °С, 24 ч	Прутки, поковки	Обрабатывается давлением, как сплав Ti-8Al-1Mo-1V. Сварка сплава не рекомендуется	Детали газотурбинных двигателей
IMI 685 (Ti-6Al-5Zr-0,5Mo-0,25Si)	Разработан специально для применения в конструкциях авиационных двигателей. Внедрен в 1969 г	4,45 г/см ³	T _{пп} =1020°С	Первый из серии жаропрочных комплексно-легированных псевдо- α -сплавов, для которых характерно сочетание высокого сопротивления ползучести, свариваемости	Наилучшее сочетание механических свойств обеспечивает микроструктура корзиночного плетения	Прутки, поковки	Сплав хорошо сваривается всеми видами сварки, приемлемыми для титана, включая ЭЛС	Детали авиационных двигателей

1	2	3	4	5	6	7	8	9
IMI 829 (Ti-5 Al-3,5Sn- 3Zr-1 Nb-0,3 Si)	Сплав разрабатывался как жаропрочный с рабочими температурами до 540 °С	4,54 г/см ³	T _{пп} =1015±10 °С	Псевдо-α-сплав средней прочности и высокого сопротивления ползучести, что обеспечивается большим содержанием α-стабилизаторов	Наибольшее сопротивление ползучести достигается закалкой из β-области в масле и старением при 625 °С	Прутки,ковки, плиты, листы, проволока	Хорошо сваривается всеми видами сварки, применяемыми для титана. Хорошие	Диски и лопатки компрессора авиационного двигателя
IMI 834 (Ti-5,8AlSn-3,5Zr-0,7Nb-0,5Mo-0,35Si)	Разработан IMI (Англия) в 1984 г. как жаропрочный с рабочими температурами до 600 °С.	4,55 г/см ³	T _{пп} =1045±10 °С	Сплав высокой прочности («1050 МПа) с высоким сопротивлением ползучести, что обеспечивается растворным упрочнением, легированием кремнием и пластинчатой структурой. Содержание Al, Sn, Zr соответствует оптимальному в отношении термической стабильности. Характерно высокое содержа-	Термическая обработка - закалка с 1015 °С + старение при 700 °С. Эффект термического упрочнения и прокаливаемость невелики. Сохраняется высокий уровень свойств в сечениях до 75 мм. При термической обработке кремний переводится в твердый раствор, так что	Прутки, сугунки, плиты, листы, проволока, фасонное литье	Сплав хорошо деформируется, сваривается всеми видами сварки, применяемыми для титана. Штампуется при нагреве	Диски и лопатки компрессора газотурбинного двигателя, детали вертолетов (выхлопные устройства)

Сплавы α -класса легируют алюминием и нейтральными упрочнителями (оловом и цирконием). Сплавы этого класса по сравнению с титаном отличаются повышенной прочностью и жаропрочностью, высокой термической стабильностью, малой склонностью к хладноломкости, хорошей свариваемостью. Хорошая свариваемость α -сплавов обусловлена их однофазной структурой даже при значительном содержании алюминия, в связи с чем металл шва и околошовной зоны не охрупчивается. Титановые α -сплавы термически не упрочняются; единственный вид их термической обработки - отжиг полный (для достаточного снятия нагартовки) или неполный (для снятия остаточных напряжений). Из α -сплавов наиболее широко применяют Ti-5Al-2,5Sn. Его производят практически во всех странах мира. Этот сплав с пониженным содержанием примесей внедрения (Ti-5Al-2,5Sn ELI) мало склонен к хладноломкости и его применяют до температур жидкого водорода.

Псевдо- α -сплавы можно разделить на две группы:

- а) малопрочные высокотехнологичные;
- б) высокожаропрочные супер α -сплавы.

Сплавы первой группы содержат небольшие количества алюминия и малые концентрации β -стабилизаторов, что позволяет сохранить при обработке давлением высокую технологичность, близкую к технологичности чистого титана. Эти сплавы хорошо свариваются всеми видами сварки. Псевдо- α -сплавы термически не упрочняются, их применяют в отожженном состоянии.

Недостатки высокотехнологичных малолегированных псевдо- α -сплавов - сравнительно невысокая прочность и большая склонность к водородной хрупкости.

Общая характеристика ($\alpha+\beta$ -титановых сплавов приведена в табл. 7 и 8. Механические свойства сплавов этого класса изменяются в довольно широких пределах. [3]

Таблица 7 – Общая характеристика отечественных $\alpha + \beta$ титановые сплавы

Сплав	Общие сведения	Плотность	Температура полиморфного превращения	Общая характеристика	Структура. Термическая обработка	Полуфабрика т	Технология	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT6 (Ti-6Al-4V)	Аналог зарубежного сплава Ti-6Al—4V. Выпускается несколько модификаций этого сплава, отличающихся содержанием Al, V и примесей (BT6; BT6с; BT6к; BT6кт; BT6ч); литейный вариант BT6Л	4,43 г/см ³	T _{пп} =970-1010°С	Сплав средней прочности (в отожженном состоянии). Al упрочняет α - и β -фазы; V стабилизирует β -фазу и затрудняет образование α_2 -сверхструктуры в α -фазе. Обладает высоким комплексом прочностных, технологических и служебных свойств. Максимальная рабочая температура 350 °С. Сплав с пониженным содержанием примесей (BT6кт) применяют при криогенных температурах (до 196 °С)	Применяют в отожженном и термически упрочненном состоянии. В отожженном сплаве содержится около 10 % β -фазы. Закалка и старение повышают уровень прочности примерно на 15-20 % при сохранении достаточно высокой пластичности	Листы, лента, фольга, плиты, поковки, штамповки, профили, кольцевые детали, панели, проволока	Обладает высокой технологичностью при обработке давлением, хорошими литейными свойствами, сваривают всеми видами сварки	Детали авиационных двигателей (статор, кожух, КНД) и планера самолета, детали ракет, детали крепления, химическое машиностроение, изделия бытовой техники, спортивный инвентарь, детали и элементы конструкций, работающих в воде; хирургические имплантаты
BT9 (Ti-6,5Al-3Mo-1,5Zr-0,25Si)	Разработан в ВИАМе в 1958 г.; литейный вариант- сплав BT9Л	4,48 г/см ³	T _{пп} =980-1020°С	Высокое содержание алюминия и легирование кремнием обеспечивают более высокие прочностные и жаропрочные свойства по сравнению с BT6. Предназначен для работы при температурах 400-500 °С	Оптимальное сочетание механических свойств обеспечивает двойной отжиг; содержание β -фазы после отжига равно 10 %.	Прутки, поковки, штамповки, плиты, кольцевые детали	Сплав удовлетворительно деформируется в горячем состоянии. Технологические свойства при обработке давлением хуже, чем у сплава BT6.	Детали ГТД (диски, лопатки и другие детали компрессора)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT8 (Ti-6,5Al-3,3Mo-0,3Si)	Разработан в ВИАМе в 1958 г.; позднее предложены его модификации: BT8-1, BT8M, BT8M-1	4,48 г/см ³	T _{пп} =980-1020°C	Высокое содержание алюминия и легирование кремнием обеспечивают более высокие прочностные и жаропрочные свойства по сравнению со сплавом BT6. Максимальная рабочая температура 480 °С; сплавы BT8-1 и BT8-1M превосходят сплавы BT3-1 и BT9 по термической стабильности, пластичности, технологичности и характеристикам трещиностойкости	Оптимальное сочетание свойств обеспечивает двойной и изотермический отжиг. Содержание β-фазы в отожженном сплаве составляет 10 %. Сплавы этого типа термически упрочняются	Прутки, поковки, штамповки, плиты	Удовлетворительно деформируется в горячем состоянии; технологичность при обработке давлением хуже, чем у сплава BT6. Сварка не рекомендуется	Детали ГТД (лопатки и диски компрессора низкого давления, детали крепления; в том числе вентилятора)
BT 14 (Ti-5Al-3Mo- IV)	Разработан в ВИАМе в 1960 г.; первый термически упрочняемый сплав освоенный промышленностью. Литейный вариант BT14Л.	4,50 г/см ³	T _{пп} =920-960°C	Существенное содержание β-стабилизаторов (молибдена и ванадия) обеспечивает получение Р-фазы в количествах, достаточных для термического упрочнения. Рекомендуется для работы до 400 °С	Применяют в отожженном или термически упрочненном состоянии. Эффект от старения составляет ≈30 %. Прокляемость невелика (в сечениях не более 40-45 мм)	Листы, прутки, профили, поковки, штамповки, фасонное литье	Хорошо деформируется в горячем состоянии; основные операции штамповки осуществляют при нагреве. Сплав удовлетворительно сваривается. Хорошие литейные свойства	Штампованные конструкции, длительно работающие до 350-400 °С, конструкции из труб, детали крепления

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT25У (6,5 Al- 1,8Sn- 3,8Zr-4Mo- 1W-0,20Si)	Разработан в ВИАМе в 1971 г.	4,5 г/см ³	T _{пп} =900- 1030°C	Высокое содержания алюминия и нейтральных упрочнителей (циркония и олова), а также легирование вольфрамом обеспечивают повышенные характеристики жаропрочности. Максимальная рабочая температура достигает 500-550 °С	Применяют в отожженном состоянии. По прочности и жаропрочности в интервале температур 450-550 °С превосходит все другие отечественные сплавы; но по трещиностойкости уступает сплаву BT6	Прутки, поковки, штамповки, кольцевые детали	Удовлетворительно деформируется в горячем состоянии. Технологические свойства при обработке давлением хуже, чем сплава BT6	Детали ГТД (лопатки и диски компрессора высокого давления)
BT3-1 (Ti-6,3Al- 2,5Mo- 1,5Cr- 0,5Fe-0,3Si)	Один из первых отечественных промышленных сплавов (предложен ВИАМом в 1957 г.). Долгое время был самым распространенным отечественным сплавом. Литейный вариант BT3-1Л	4,5 г/см ³	T _{пп} =960- 1000°C	Комплексное легирование сплава обеспечивает более высокую прочность и жаропрочность по сравнению со сплавом BT6. По технологичности и трещиностойкости сплав BT3-1 уступает сплаву BT6. Предназначен для работы до 400-450 °С	Применяют в отожженном и термически упрочненном состоянии. Прокаливаемость сплава невелика (в сечении до 40^15 мм). Количество Р-фазы в отожженном сплаве «15-20 %	Прутки, поковки, штамповки, плиты, профили, кольцевые детали	Удовлетворительно деформируется в горячем состоянии. Обладает удовлетворительными литейными свойствами	Детали компрессора ГТД, работающие длительно до 400 °С; арматура, ушковые болты, детали системы управления (в настоящее время рекомендуется заменить сплав BT3-1 для приведенного применения на сплав BT6)
BT23 (Ti-5Al- 4,5V- 2Mo- 1Cr- 0,7Fe)	Разработан в ВИАМе в 1969 г	4,57 г/см ³	T _{пп} =890- 930°C	Среднелегированный (α+β)-сплав мартенситного класса. Отличается высокой технологической пластичностью при обработке давлением	Применяют в отожженном и термически упрочненном состоянии	Прутки, листы, лента, фольга, поковки, штамповки, плиты, трубы, профили	Хорошо обрабатывается давлением, при изготовлении деталей можно применять вытяжку	Силовые конструкции аэрокосмической техники: обшивка, баллоны;

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT16 (Ti- 3Al,5V- 5Mo)	Разработан ВИАМом в 1963 г. специально для изготовления деталей креп- ления	4,68 г/см ³	T _{пп} =840- 880°C	Отличается высоким сопротивлением срезу, малой чув- ствительностью к концентраторам напряжений, хорошо выдерживает нагрузку с перекосом, обладает большим эффектом закалки и старения	Ввиду довольно большого содержания β- стабилизато- ров содержит довольно много β-фазы в отожженном состоянии (35- 50 %). Прочность сплава в отожженном со- стоянии невелика (875 МПа)	Прутки, листы, лента, фольга, поковки, штамповки	Хорошо дефор- мируется в го- рячем и холод- ном состоянии. Возможна вы- садка головки болта при ком- натной темпера- туре при диаметре болта ≤12 мм; хорошо сваривается всеми видами сварки	Крепежные и другие резьбо- вые детали диа- метром не более 40 мм, длительно работающие при температурах до 300 °С (без огра- ничения ресурса до 130 °С)

Таблица 8 – Общая характеристика $\alpha + \beta$ титановых сплавов, применяемых за рубежом

Сплав	Общие сведения	Плотность	Температура полиморфного превращения	Общая характеристика	Структура. Термическая обработка	Полуфабрика т	Технология	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ti-64 (Ti- 6Al-4V)	Разработан в 1950-х гг. Самый распространенный сплав; его производство составляет более 50 % всего мирового выпуска титана. В авиационной технике на его долю приходится более 80 % деталей и конструкций. Предназначен для длительной эксплуатации до температуры 400 °С	4,43 г/см ³	T _{ПП} =995±15° С	Сплав средней прочности и высокой технологичности. Высокий комплекс свойств обусловлен удачным легированием. Выпускается несколько вариантов сплава, отличающихся содержанием примесей. С понижением содержания примесей внедрения уменьшается прочность и повышаются пластичность и вязкость.	Применяют в основном после заводского отжига (в состоянии поставки), но комплекс его свойств может быть улучшен отжигом. Отжиг в β - области повышает вязкость разрушения, сопротивление ползучести и уменьшает скорость роста трещин.	Прутки, поковки, плиты, листы, трубы, профили, проволока, фасонное литьё	Хорошо обрабатывается давлением, куется различными способами и прессуется; хорошо формируется, причем листовая штамповка простых форм осуществляется при комнатной температуре. Сплав хорошо сваривается всеми видами сварки, отличается высокими литейными свойствами	Авиация; аэрокосмическая техника; судостроение; корпуса глубоководных аппаратов, подводные лодки, вооружение, лопасти паровых турбин; автомобилестроение; мотоциклы (клапаны), имплантаты (хирургические и стоматологические), изделия бытового назначения
RMI Low cost Ti-6,4Al-1,2Fe	Разработан в США. Дешевый заменитель сплава Ti-6Al-4V			Ванадий в сплаве Ti-6Al-4V заменен на эквивалентное количество железа	По структуре и свойствам близок к сплаву Ti-6Al-4V			В гражданских отраслях техники
Ti-431 (Ti-4Al-3Mo-1V)	Листовой сплав. Разработан в 1950-х гг.	4,5 г/см ³		Сплав средней прочности.	Применяют в отожженном и термически упрочненном состоянии.	Листы, плиты		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ti-74 (Ti-7Al-4Mo)	Один из “старых” сплавов. В настоящее время применяют ограниченно	4,48 г/см ³	T _{пп} =1005±15° С	Молибден, стабилизируя Р-фазу, повышает способность сплава к термическому упрочнению. В связи с большим содержанием алюминия и заменой ванадия молибденом сплав прочнее, чем Ti-6Al-4V	Повышение содержания алюминия привело к увеличению характеристик прочности и жаропрочности по сравнению с Ti-6Al-4V. Прокаливаемость такая же, как у Ti-6Al-4V	Прутки, поковка	Сплав деформируется труднее, чем Ti-6Al-4V. Сварка не рекомендуется	Детали компрессора ГТД (диски и лопатки)
IMI 550 (Hylite 50) (Ti-4Al-4Mo-2Sn-0,5Si)	Разрабатывался для применения в аэрокосмической технике	4,60 г/см ³	T _{пп} =975±10° С	Сплав высокой прочности с рабочей температурой до 400 °С. Обладает большей прочностью, повышенным сопротивлением ползучести, большим сопротивлением коррозионному растрескиванию, но меньшей вязкостью по сравнению со сплавом Ti-6Al-4V	Применяют в основном после закалки и старения; прокаливается в сечениях до 150 мм	Прутки, сутунки, плиты, листы, фасонное литье	Обрабатывается давлением лучше других титановых сплавов. Сплав сваривается	Двигатели, диски компрессора, детали планера летательных аппаратов (закрылки), высокоскоростные роторы
IMI 551 (Ti-4Al-4Mo-4Sn-0,5 Si)	Разрабатывался как сплав высокой прочности с достаточным сопротивлением ползучести до 400 °С	4,62 г/см ³	T _{пп} =1050±15° С	Из-за большого содержания олова прочнее сплава IMI550. Один из самых прочных промышленных сплавов	Применяют после закалки (охлаждение на воздухе) и старения. Резкое охлаждение после закалки (в масле или воде) приводит к низкой пластичности	Поковки, фасонное литье	Хорошо обрабатывается давлением, хотя и хуже сплава Ti-6Al-4V. Сплав не сваривается	Детали ГТД (диски компрессора и другие быстро вращающиеся детали двигателя)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ti-662 (Ti- 6Al-6V-2Sn)	Разработан в Нью-Йоркском университете как более прочный вариант сплава Ti-6Al-4V	4,54 г/см ³	T _{пп} =945±15° С	Высокопрочный сплав. Отличается высокой коррозионной стойкостью. Помимо основных компонентов сплав содержит около 1% (Fe+Si) в примерно равных количествах для улучшения эффекта термического упрочнения. Прокаливается в сечениях до 25 мм	Повышенное содержание ванадия и введение олова привело к увеличению прочностных свойств.	Прутки, сутунки, поковки. Возможно получение плит, листов, профилей и проволоки	Удовлетворительно обрабатывается давлением. Формовку осуществляют в нагретом состоянии. Сплав плохо сваривается. Сварные соединения обладают пониженной вязкостью	Крупногабаритные элементы конструкций планера самолета; центрифуги; детали ГТД; шасси
KSTi-9 (Ti-4,5Al-2Mo-1,6V-0,5Fe-0,3Si-0,03C)	Разработан Kobe Steel (Япония)			Алюминий, молибден и ванадий обеспечивают упрочнение, кремний повышает пластичность, углерод - жаропрочность	По свойствам сопоставим со сплавом Ti-6Al-4V; при повышенных температурах прочнее его	Прутки, поковки, полосы, плиты, листы	Обладает отличной деформируемостью в горячем и холодном состояниях. Хорошо сваривается	Авиационная техника, автомобили, архитектура. Ключки для гольфа
Timetal 62S (Ti-6Al-1,7Fe-0,1Si)	В связи с легированием железом сплав отличается меньшей стоимостью по сравнению с другими титановыми сплавами. По свойствам и обрабатываемости не уступает Ti-6Al-4V	4,44 г/см ³	T _{пп} =1000-1025° С	Содержание алюминия оптимально; при меньших его концентрациях не используются все возможности упрочнения, при больших - теряется пластичность. При повышенных содержаниях железа (2,4 %) и кремния (0,25 %) снижается термическая стабильность	Микроструктура подобна микроструктуре сплава Ti-6Al-4V. Сплав применяют в отожженном состоянии. Комплекс механических свойств может быть улучшен закалкой и старением	Прутки, сутунки, поковки, плиты, листы	При содержании кремния более 0,1 % возникают трудности при плавке. Обработка давлением подобна обработке давлением Ti-6Al-4V	Благодаря пониженной стоимости может применяться во многих отраслях гражданской техники, в частности, в автомобилестроении

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ti-6-2222-S (Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0,25Si)	Разработан RMI Titanium Co. (США) в начале 70-х годов как более прочный и надежный материал, чем сплав Ti-6Al-4V	4,65 г/см ³	T _{пп} =960±15° С	Обладает высокой прочностью (1070 - 1140 МПа) в больших сечениях в сочетании с хорошей вязкостью разрушения. Большое содержание β-стабилизаторов обеспечивает высокую прокаливаемость (в сечениях до 75-100 мм). Кремний повышает сопротивление ползучести	Применяют после двойного и тройного отжига. Наибольшую вязкость разрушения обеспечивает β-деформация и β-отжиг, при которых формируется пластинчатая структура. Прочностные свойства можно существенно повысить термическим упрочнением	Плиты, листы, прутки, поковки	Удовлетворительно деформируется в горячем состоянии аналогично сплаву Ti-6AlV. Сплав можно подвергать холодной листовой штамповке. Обладает высокой способностью к сверхпластической деформации	Элементы планера самолета (F 22 ATF, X-33): лонжероны, тормоза и др.
Ti-6246 (Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo)	Сплав разрабатывался как термически упрочняемый с хорошим сочетанием длительной прочности при умеренной температуре (до 400 °С) и высокой кратковременной прочности при повышенных (до 540 °С) температурах	4,65 г/см ³	T _{пп} =935°С	Высокое содержание молибдена обеспечивает большой эффект термического упрочнения. Кремний повышает сопротивление ползучести	Применяют после отжига и упрочняющей термической обработки. Типичная микроструктура-α-фаза в β-превращенной матрице. Наилучшее сочетание свойств при 10 % первичной α-фазы равноосной формы	Сутунки, прутки, поковки, ПЛИТЫ, листы	При плавке встречаются трудности, связанные с ликвацией молибдена. Режимы деформации и термической обработки должны обеспечивать минимум «р-пятен».	Детали ГТД (диски компрессора, лопатки, крыльчатки), уплотнители, детали планера самолета

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tikrutan LT35 (Ti-5Al-2,5Fe)	Материал с хорошей биологической совместимостью с тканью тела человека	4,45 г/см ³	T _{пп} =950°C	Сплав обладает высокой коррозионной стойкостью, высоким отношением предела выносливости к модулю Юнга, биологической совместимостью	Деформация в (α+β)-области и отжиг при 850 °С приводят к формированию мелкозернистой (α+β)-структуры. Возможно упрочнение сплава путем закалки и старения	Лента, листы, плиты, трубы, профили, пластины, фасонное литье	При комнатной температуре формируется плохо, хорошая деформируемость достигается нагревом до 850-950 °С, а также до β-области. Возможна сверхпластическая деформация. Сплав сваривается	Хирургические и стоматологические имплантаты (протезы, винты, пластины, эндопротезы, вживленные пористые имплантаты и т.п.)
Corona 5 (Ti-4,5Al-5Mo-1,5Cr)	Обладает повышенной вязкостью разрушения; отличается высоким сопротивлением коррозии и коррозионному растрескиванию	4,54 г/см ³	T _{пп} =925°C	Сплав средней прочности с высокой вязкостью разрушения. Содержание алюминия ограничено 4,5% для исключения развития коррозии под напряжением. Молибден и хром оказывают достаточно большое β-стабилизирующее действие. Содержание хрома ограничено 1,5%, чтобы исключить образование «β-пятен»	Содержание легирующих элементов выбрано таким, чтобы обеспечить выделение около 50 % α-фазы в дисперсной пластинчатой форме, а не в виде колоний или пакетов. Заданная структура обеспечивается деформацией и термической обработкой в β- или (α+β)-области.	Поковки, плиты, листы, прутки	Хорошо деформируется при более низких температурах, чем сплав Ti-6Al-4V. Сплав способен к сверхпластической деформации	Аэрокосмическая техника в применениях, требующих повышенной вязкости разрушения

1	2	3	4	5	6	7	8	9
K.S EL-F (Ti-4,5 Al- 4Cr-0,5 Fe- 0.2C)	Предложен Kobe Steel (Япония) как материал с удачным сочета- нием прочности и пластичности			Легирование углеро- дом повышает проч- ность сплава до 500 °С, не уменьшая способности к холодной деформации, и снижает напряжения течения при горячей обработке давлением	Применяют в отожженном состоянии ($\sigma_{гв}$ «950 МПа). Сопротивление усталости такое же, как у сплава Ti-6Al-4V	Прутки, поковки	Хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях	Автомобили, спортивный инвентарь
SP-700 (Ti-4,5Al- 3V-2Mo- 2Fe)	Предназначен для сверхпласти- ческой деформа- ции, что отраже- но в его названии (SP).	4,54 г/см ³	T _{пп} =900±5°С	Обладает высокими прочностью и вязкос- тью разрушения. Довольно большое содержание β- стабилизаторов существенно снижает температуру T _{пп} и температуру сверхпластической деформации (-700-750 °С)	Сплав с большим содержанием β- фазы. Легко можно получить мелко- зернистую структуру, необходимую для сверхпласти- ческой деформации. Применяется после отжига или в термически упрочненном состоянии	Плиты, листы, прутки, фасонное литье	Возможна холодная штамповка. Хорошо обрабатывается давлением. Более легкая сверхпласти- ческая деформация по сравнению с деформацией сплава Ti- 6Al- 4V. Сплав сваривается	Авиация, ракетно- космическая техника, автомобили (детали, требующие сверхпла- стической формовки)

Общая характеристика β -сплавов приведена в табл. 9.

К преимуществам β -сплавов относятся:

1. Высокая технологичность в закаленном состоянии, что позволяет осуществлять некоторые операции обработки давлением даже при комнатной температуре; высокая технологичность сплавов этого класса обусловлена объемно-центрированной решеткой β -фазы, которая легче деформируется, чем α -фаза с гексагональной структурой при той же степени легированности.

2. Большой эффект термического упрочнения, что связано с высокой степенью пересыщения закаленной β -фазы легирующими элементами. Распад пересыщенной β -фазы при старении обеспечивает повышение прочности сплавов в 1,5-1,7 раза.

3. Большая глубина прокаливаемости.

4. Высокая вязкость разрушения при значительных прочностных характеристиках.

5. Высокое сопротивление усталости.

6. Малая склонность к водородной хрупкости. [3]

Таблица 9 – Общая характеристика отечественных β титановых сплавов

Сплав	Общие сведения	Плотность	Температура полиморфного превращения	Общая характеристика	Структура. Термическая обработка	Полуфабрика т	Технология	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT30 (Ti-11,5Mo-6Zr-4,5Sn)	Аналог зарубежного сплава beta - III	5,06 г/см ³	T _{пп} =760°C	Сплав переходного класса. Обладает высокой пластичностью в закаленном состоянии при малом уровне прочности. Старение вызывает сильное упрочнение	Содержание β -стабилизаторов достаточно для подавления мартенситного превращения. После закалки сплав способен к холодной деформации при комнатной температуре со значительными степенями (прокатке, штамповке, редуцированию и т.д.); последующее старение позволяет получить нужный уровень прочностных свойств	Прутки, листы, фольга, плиты	При плавке возникают большие трудности из-за ликвации легирующих элементов, при горячей деформации молибден испаряется. Сплав содержит дорогие легирующие элементы	Детали крепления
BT35 (Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn-1Zr - 1Mo)	Предложен ВИАМом; аналог зарубежного сплава Ti-15-3-3-3. Литейный вариант BT35Л	4,88 г/см ³	T _{пп} =720-740°C	Высоколегированный псевдо- β -сплав с β -фазой, легко сохраняющейся даже при охлаждении с печи	Обладает большой прокаливаемостью. В закаленном состоянии высокопластичный и способен к холодной дефор.	Листы, фольга, фасонное литье	Удовлетворительно обрабатывается давлением в горячем состоянии; после закалки способен к холодной дефор.	Сотовые конструкции, анкерные гайки, длинномерные листовые лонжероны

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT22 (Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe)	Разработан ВИАМом в 1965 г. Позднее предложены его модификации BT22И; BT22ч; BT22М	4,60 г/см ³	T _{пп} =850-890°C	Высокопрочный, высоколегированный сплав переходного класса. Высокое содержание β-стабилизаторов обеспечивает большой эффект упрочнения при старении. Сплав BT22М дополнительно легирован оловом и цирконием, что привело к дополнительному упрочнению. Сплав BT22И содержит меньшие концентрации алюминия, что повышает его способность к холодной деформации	Сплав BT22 применяют в отожженном и термически упрочненном состоянии. В отожженном сплаве содержание α- и Р-фаз примерно одинаково (я 50 %). Наиболее прочный в отожженном состоянии сплав среди серийных сплавов (σ>1300 МПа). Рабочие температуры - до 350 °С	Прутки, поковки, штамповки, плиты, профили	Удовлетворительная обрабатываемость давлением; возможность получения крупногабаритных поковок и штамповок с довольно однородным распределением свойств по сечению. Сплав удовлетворительно сваривается	Силовые крупногабаритные детали фюзеляжа, крыла, шасси, детали системы управления, крепежные детали типа силовых болтов (Ил-76; Ил-86; Ил-96; «Руслан», «Мрия»), детали ГТД
BT19 (5,5Mo-3,5V-5,5Cr-3Al-1Zr)	Разработан в ВИАМе в 1973 г.			Высоколегированный псевдо-β-сплав с β-фазой высокой устойчивости. Обладает лучшим комплексом механических и технологических	В закаленном состоянии малопрочен и высокопластичен. Старение вызывает сильное упрочнение	Поковки, штамповки, прутки, плиты, листы	Обладает удовлетворительной пластичностью при горячей и холодной обработке давлением	Детали авиационной техники
BT32 (Ti-8V-8Mo-1,2Cr-1,2Fe-3Al)	Предложен ВИАМом в 1975 г.	4,83 г/см ³		Наиболее сильно легированный псевдо-β-сплав; способен к самозакалке даже при сравнительно медленном охлаждении (< 3 °С/мин)	Старение вызывает сильное упрочнение.	Листы, фольга, трубы	Удовлетворительно обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях	Сотовые конструкции, тонкостенные холоднокатаные трубы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BT 15 (Ti-7Mo- 11Cr- 3Al)	Предложен ВИАМом в 1960 г.; один из первых псевдо- P-сплавов	4,89 г/см ³	T _{пп} =750- 800°C	Высокое содержание β-стабилизаторов обеспечивает фиксацию β-фазы при умеренных скоростях охлаждения	Сплав в закаленном со- стоянии обладает высо- кой пластичностью и способен к холодной дефор- мации. Старение вызывает сильное упрочнение	Листы. фольга	При литье слитков развивается сильная ликвация, что вызывает неоднородность структуры и свойств деформиро- ванных полуфабрикатов. Сплав имеет ограниченное применение	Сотовые конструкции, мембраны

2. Базы данных

База данных представляет собранное множество записей различных сведений. Они необходимы, чтобы у пользователей была возможность сразу получить доступ к большому объему данных для выполнения разного рода операций.

Ниже приведена характеристика каждой программы, ее преимущества и недостатки.

Microsoft Access

Одна из самых распространенных СУБД - Microsoft Access. Функционал и интуитивно понятный интерфейс делают инструмент доступным даже для начинающих пользователей. Microsoft Access подходит как для обучения, так и для решения конкретных задач. Инструмент содержит в себе функцию переключения между двумя режимами - таблицы и конструктора.

Примечательно и то, что внутри СУБД имеется много шаблонов самых разных баз, что дает возможность сэкономить время на выборе макета, а вместо этого подобрать нужный вариант из предложенных: «Контакты», «Отслеживание активов», «Пользовательское веб-приложение», «Управление проектами» и др.

Пользователь устанавливает тип данных для каждой из ячеек базы. Так, это может быть текстовая информация, число, время и дата, гиперссылка, логическое значение и т. д. Есть встроенный многофункциональный модуль с большим количеством изменяемых параметров. Он используется для составления отчетов, заполнения запросов и форм.

Использование Access позволяет:

- ✓ добавлять новую информацию в базу данных, например новый артикул складских запасов;
- ✓ изменять информацию, уже находящуюся в базе, например перемещать артикул;

- ✓ удалять информацию, например если артикул был продан или утилизирован;
- ✓ упорядочивать и просматривать данные различными способами;
- ✓ обмениваться данными с другими людьми с помощью отчетов, сообщений электронной почты, внутренней сети или Интернета.

Поддерживается интерфейс на русском языке. Программа для создания базы данных Access платная. Ее распространение возможно лишь в рамках офисного пакета Microsoft.

LibreOffice

LibreOffice - аналог Microsoft Office и приложения Access в частности. Он может быть применен при работе с текстовыми документами, таблицами, презентациями, базами данных, графическими изображениями и даже математическими записями. Для работы необходимо установить на компьютере полный пакет и выбрать нужный модуль для запуска.

LibreOffice содержит практически весь функционал Access. Кроме того, разработчики позаботились об удобном и понятном для пользователя интерфейсе, без загромождения разного рода кнопками и категориями. Главное окно содержит только основные возможности. Но есть нюанс - здесь нет мастера создания баз данных со встроенными шаблонами. Зато поддерживается интерфейс на русском языке, и есть открытый исходный код. Это одна из бесплатных программ для создания баз данных.

Database.NET

В Database.NET пользователь может выполнять разные виды деятельности: редактировать и удалять базы данных, импортировать и экспортировать. Экспорт возможен в форматы CSV, XML и TXT, есть распечатка таблиц. Имеется консоль с подсветкой синтаксиса.

Database.NET функционирует с любыми форматами баз данных и таблиц. Это и Access, Excel, Firebird, MySQL, SQL Server, SQL Azure, SQLCE, SQLite,

PostgreSQL, Oracle, DB2, OLEDB, ODBC и OData. Интересно, что устанавливать это решение нет необходимости. Официальную версию можно просто записать на флешку и без проблем запустить на любое устройство. Есть бесплатная версия, есть расширенная — платная. Локализация на русском языке имеется.

MySQL Workbench

Инструмент предназначен для работы с базами на основе технологии MySQL. Продукт разработан специалистами Workbench и содержит все инструменты для создания и администрирования баз данных, необходимых на практике. Интерфейс очень простой и удобный, справится даже начинающий пользователь. Отдельно стоит выделить возможность установки шаблона, предназначенного для автоматического индексирования ячеек, обработки запросов и смены сценариев.

MySQL Workbench содержит модуль для визуального проектирования. Для формирования таблиц и установки связей между ними предусмотрены ER-диаграммы. Подсвечивается синтаксис SQL, в том числе все возможные ошибки как при наборе простого текста, так и кода. Интерфейс удобен и интуитивно понятен, но не поддерживает русского языка. Это, наверно, самый большой минус для русскоговорящих пользователей.

Navicat

Navicat - полноценное хранилище программ, предназначенных для работы с СУБД. Сайт разработчика предлагает на выбор множество версий для установки: MySQL, PostgreSQL, MongoDB, MariaDB, SQL Server, Oracle, SQLite. Кроме того, инструмент полноценно функционирует и с облачными сервисами вроде AmazonAWS, Google Cloud и т. д. Чтобы подключиться, нужен логин, пароль, туннели SSL, SSH или HTTP.

Программа предлагает гибкие инструменты для работы с данными начиная, конечно, с просмотра содержимого таблиц с возможностями вроде фильтрации и сортировки. Navicat даже понимает внешние ключи, позволяя выбирать значения соответствующих атрибутов кортежа с помощью удобного

диалога. Так же в наличии гибкие возможности импорта/экспорта в популярные форматы, начиная с исторических DBF и CSV, и заканчивая современным JSON

Интерфейс Navicat состоит из 3 частей. Слева - список всех имеющихся БД пользователя. В центре - место, предназначенное для обработки таблиц, справа — информация по выделенным объектам. Для возможности проектирования имеются удобные ER-диаграммы. Интерфейс на русском языке отсутствует. Есть бесплатная ознакомительная версия.

dbForge Studio

Интерфейс этого решения удобный и приятный пользователю, подходит для осуществления запросов разного характера, а также для разработки и отладки объектов БД. dbForge Studio работает с системами MySQL и MariaDB, а проектирование происходит только на SQL. Встроенный редактор умеет подсвечивать синтаксис, допущенные ошибки, и может отладить хранимые процедуры. Имеется и визуальный редактор, что удобно для начинающих пользователей.

Пользователь может настроить автоматическое резервное копирование, осуществлять импорт и экспорт, копировать БД и т. д. Можно анализировать информацию в таблицах и составлять отчеты с помощью специального мастера с содержанием множества параметров. Продукт поддерживает русский язык. Бесплатной версии нет.

Paradox Data Editor

Paradox Data Editor работает с таблицами баз данных на BDE. Считается, что интерфейс этой программы для создания локальных баз данных, морально устарел. Но пользователи отмечают его удобство и простоту взаимодействия. Имеет смысл отметить средство просмотра технологии BLOB. Можно устанавливать разные фильтры и инструменты поиска, вывести статистические данные по каждой колонке в таблице. И это далеко не весь список удобных возможностей, которые есть у данного решения.

На базу данных можно установить пароль. Также можно экспортировать данные в форматы HTML, CSV, Excel, RTF, SYLK, запускать печать на принтере. Интерфейс на русском языке не поддерживается, но зато Paradox Data Editor можно установить бесплатно.

HeidiSQL

HeidiSQL - бесплатный инструмент для работы с базами данных, имеющий открытый исходный код. Работает с технологией SQL, а именно MySQL, Microsoft SQL и PostgreSQL. Содержит все инструменты, необходимые для проектирования, создания, редактирования баз данных. Содержит как графический интерфейс, так и командную строку.

Интерфейс довольно прост и понятен, но русский язык не поддерживает. Подключается к серверу по туннелям. Имеет возможность импортировать текстовые файлы. Программа не только мониторит, но и при необходимости ограничивает процессы клиента. Есть возможность добавления двоичных файлов и поиск сразу во всех таблицах базы данных.

Список литературы

1. Александров В.К., Аношкин Н.Ф., Белозеров А.П. и др. Полуфабрикаты из титановых сплавов - М.:ВИЛС, 1996. - 581 с.
2. Александров В.К., Аношкин Н.Ф., Бочвар Г.А. и др. Полуфабрикаты из титановых сплавов – М.: «Металлургия», 1979. - 512 с.
3. Ильин А.А., Колачёв Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник – М.: ВИЛС – МАТИ, 2009. – 520 с.
4. <https://gb.ru/blog/programmy-dlya-sozdaniya-baz-dannykh/>
5. <https://lumpics.ru/database-software/>
6. <https://ru.wikihow.com/пользоваться-Microsoft-Access>