



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005140084/02, 27.04.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.04.2004

(30) Конвенционный приоритет:
22.05.2003 US 10/443,047

(43) Дата публикации заявки: 10.05.2006

(45) Опубликовано: 10.02.2009 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: MARGARET M. MCLELLAN. Aerospace
Structural Metals Handbook. Titanium Alloys,
April 2003, Code 3724, Page 1-3. RU 1621543
C, 15.08.1994. RU 1131234 C, 30.10.1994. US
5399212 A, 21.03.1995. US 4878966 A,
07.11.1989. US 4738822 A, 19.04.1988.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
22.12.2005

(86) Заявка РСТ:
US 2004/011260 (27.04.2004)

(87) Публикация РСТ:
WO 2004/106569 (09.12.2004)

Адрес для переписки:
103735, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО
"Союзпатент", пат.пов. Ю.В.Пинчуку, рег.№ 656

(72) Автор(ы):
БАНЬЯ Пол Дж. (US)

(73) Патентообладатель(и):
ТИ-ПРО, ЛЛК (US)

(54) ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ТИТАНОВЫЙ СПЛАВ

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано для изготовления деталей аэрокосмической промышленности. Пригодный для термообработки α - β -титановый сплав, характеризующийся улучшенной ковкостью при высоких уровнях прочности по сравнению с имеющимися на рынке сплавами типа Ti-17, имеет следующий состав, мас.-%: 3,2-4,2 Al, 1,7-2,3 Sn,

2-2,6 Zr, 2,9-3,5 Cr, 2,3-2,9 Mo, 2-2,6 V, 0,25-0,75 Fe, 0,01-0,8 Si, до 0,21 кислорода, Ti и случайные примеси - остальное. Сплав обладает ковкостью, характеризующейся относительным сужением более чем 20%, сопротивлением двойному сдвигу, равным 7733 кг/см² (110 ksi), и прочностью на растяжение от 13709 кг/см² (195 ksi) до 15115 кг/см² (215 ksi). 2 н. и 4 з.п. ф-лы, 8 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2005140084/02, 27.04.2004**

(24) Effective date for property rights: **27.04.2004**

(30) Priority:
22.05.2003 US 10/443,047

(43) Application published: **10.05.2006**

(45) Date of publication: **10.02.2009 Bull. 4**

(85) Commencement of national phase: **22.12.2005**

(86) PCT application:
US 2004/011260 (27.04.2004)

(87) PCT publication:
WO 2004/106569 (09.12.2004)

Mail address:
**103735, Moskva, ul. Il'inka, 5/2, OOO
"Sojuzpatent", pat.pov. Ju.V.Pinchuku, reg.№ 656**

(72) Inventor(s):
BAN'Ja Pol Dzh. (US)

(73) Proprietor(s):
TI-PRO, LLK (US)

(54) **HIGH-STRENGTH TITANIUM ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention can be used for manufacturing of aerospace components. It is appropriate for heat processing α - β -titanium alloy, characterised by improved forgeability at high levels of strength in comparison with existing on market alloys of types Ti-17, allows following composition, wt %: 3.2-4.2 Al, 1.7-2.3 Sn, 2-2.6 Zr, 2.9-3.5 Cr, 2.3-2.9 Mo, 2-2.6 V, 0.25-0.75

Fe, 0.01-0.8 Si, till 0.21 of oxygen, Ti and unintentional impurity - the rest. Alloy has forgeability, characterised by contraction ratio more than 20%, double shear resistance, equal to 7733 kg/cm² (110 ksi) and tensile strength from 13709 kg/cm² (195 ksi) till 15115 kg/cm² (215 ksi).

EFFECT: providing of forgeability, double shear resistance and tensile strength of alloy.

6 cl, 8 tbl

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к сплаву на основе α - β -титана, обладающему исключительным сочетанием прочности на растяжение, включая сопротивление сдвигу, и ковкости.

Уровень техники

5 С тех пор как в начале 1950-х годов началось серьезное производство титана, было разработано множество титановых сплавов. Усилия, направленные на разработку этих различных сплавов, имели разные цели в отношении получаемого в качестве конечного продукта сплава: некоторые сплавы разрабатывались с целью улучшения тепловых характеристик, некоторые для повышения стойкости к коррозии, а некоторые даже для
10 улучшения способности к ковке и формовке. При этом, однако, чаще всего цель состояла просто в том, чтобы повысить прочность на растяжение. В данном случае под прочностью на растяжение подразумевается прочность на растяжение, «пригодная для эксплуатации», т.е. при приемлемом уровне ковкости. Поскольку же прочность и ковкость имеют обратную зависимость одна от другой, что типично практически для всех способных к закалке
15 металлических систем, обычно для того, чтобы получить сплав, который был бы пригоден для применения в разных областях техники, приходится искать компромисс между прочностью и ковкостью.

Стандартная (одноосевая) способность к растяжению обычно описывается четырьмя свойствами, определяемыми в стандартном тесте на растяжение: предел текучести (YS),
20 предел прочности на растяжение (UTS, обычно называемый просто прочностью на растяжение), % удлинения (%EI) и % уменьшения площади (%RA). Первые две величины обычно приводятся в единицах типа ksi (тысячи фунтов на квадратный дюйм, или в кг/см²), а последние две (обе являющиеся мерами ковкости) даются просто в процентах.

Еще одним часто упоминаемым связанным с растяжением свойством, особенно
25 имеющим отношение к применению в области крепежных деталей, является сопротивление «двойному сдвигу», который также дается в единицах ksi (или кг/см²). Для этого свойства не определяется ни ковкость, ни предел текучести. Обычно сопротивление двойному сдвигу для титановых сплавов составляет приблизительно 60% от одноосевых пределов на растяжение, если при этом одноосевая ковкость остается достаточной.

30 При желании сравнивать связанные с растяжением свойства разных сплавов, подвергнутых термообработке в определенных пределах комбинаций прочности на растяжение/ковкости, следует вначале проанализировать данные с помощью регрессионного анализа. Отношение прочности/ковкость можно обычно описать прямой линией в координатах x,y, где ковкость (выраженная либо в %EI, либо в %RA) является
35 зависимой переменной, а прочность (обычно UTS) является независимой переменной. Названная прямая может быть описана простым уравнением:

Уравнение 1: $\%RA = b - m(UTS)$, где m = угол наклона прямой, а b точка пересечения для нулевого значения прочности. [Примечание: при решении такого уравнения методом
40 регрессионного анализа рассчитывается также параметр, носящий название « g в квадрате», который варьирует в пределах от нуля до единицы, где единица указывает на прекрасную аппроксимацию с уравнением для прямой линии, а нулевое значение указывает на отсутствие соответствия].

После составления такого уравнения оно может быть использовано, например, для
45 сравнения рассчитанных значений ковкости при постоянном значении прочности даже в том случае, когда конкретные данные для этого значения прочности отсутствуют. Такая методология была использована в процессе всей разработки с целью классификации и сравнения сплавов.

Следует также отметить, что при реализации проекта разработки важно иметь в виду,
50 что на отношения прочность на растяжение/ковкость существенно влияет степень горячей обработки, которой может быть подвергнут металл при его превращении из расплавленного слитка в выработанный прокат (типа бруса). Это обусловлено тем фактом, что в процессе превращения в прокат происходит совершенствование макроструктуры, и чем совершеннее становится макроструктура, тем лучше отношение прочности/ковкость.

Таким образом, специалистам совершенно ясно, что отношения прочность на растяжение/ковкость в небольших лабораторных плавках значительно ниже этих отношений в полномасштабных производственных плавках из-за довольно ограниченной степени совершенствования макроструктуры, сообщаемого небольшим лабораторным

плавкам по сравнению с полномасштабными производственными плавками. Из-за практической невозможности получать полномасштабные плавки и превращать их в прокат в целях сравнения способности к растяжению, было решено производить менее крупные плавки лабораторного масштаба, как экспериментальных составов сплавов, так и составов существующих промышленных сплавов, сравнивая затем результаты на равноценной основе. Ключевой задачей является выбор промышленного сплава с исключительными свойствами. При разработке программы, результатом которой стало настоящее изобретение, в качестве базового промышленного сплава был выбран промышленный сплав, обозначенный Ti-17 (Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo), с которым должны были сравниваться экспериментальные сплавы. Этот сплав был выбран благодаря его исключительному отношению прочность/ковкость, которые этот сплав демонстрировал в форме бруса.

Таблица 1

Данные по прочности на разрыв и сопротивлению сдвигу, полученные на промышленном высокопрочном титановом сплаве (Ti-17), переработанном в брус*

Химический состав сплава (% мас.)	Выдержка (°C/час)	Предел текучести (YS) (кг/см ²)	Прочность на растяжение (UTS) (кг/см ²)	%EI	%RA	Двойной сдвиг (кг/см ²)	Двойной сдвиг в % от UTS	Средн. двойной сдвиг в % от UTS
Ti-17 (Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo)	595/8	12795	12865	12	44	8014	62	
	"	12865	12935	14	39	8295	64	
	"	13287	13357	11	36	7944	59	
	"	13357	13498	13	41	7803	58	
	565/8	13850	14060	9	34	8085	58	
	"	13919	14130	9	30	8155	58	59,8%
	"	14412	14693	8	22	N/A	N/A	
	"	14412	14693	8	28	N/A	N/A	
	510/12	14833	15185	9	25	N/A	N/A	
	"	14904	15255	9	29	N/A	N/A	

* твердый раствор материала, подвергнутый термообработке в течение 10 мин при 795°C с последующим охлаждением воздухом с помощью вентилятора

Регрессионный анализ

%RA=134,5-0,5080 (UTS)	r ² =0,79	%RA @ 195 UTS=35,4%	RA @ 215 UTS=25,3
%EL=38,76-0,1427 (UTS)	r ² =0,69	%EL=@ 195 UTS=10,9%	EL=@215 UTS=8,1

Таблица 1 представляет данные по характеристикам растяжения и двойного сдвига для продукта в форме бруса из Ti-17 с диаметром 0,95 см, изготовленного из полномасштабной промышленной плавки в объеме 4536 кг. Сочетания приведенных в таблице прочности на растяжение, сопротивления сдвигу и ковкости являются определенно исключительными для титанового сплава. Отметим также, что усредненные значения сопротивления двойному сдвигу очень близки к упомянутому выше значению UTS 60%.

Раскрытие изобретения

Конечная цель разработки сплава состояла в том, чтобы разработать пригодный для термообработки α - β -титановый сплав с улучшенной ковкостью при высоких значениях прочности, сопоставимый с пригодными для термообработки титановыми сплавами, которые в настоящее время имеются на рынке, например Ti-17. Цель можно было бы определить и так: разработать сплав, который бы обладал на 20% более высокой ковкостью при данном повышенном значении прочности, сопоставимым с прочностью Ti-17.

Титановый сплав с указанными выше характеристиками растяжения обладает высокой утилитарностью. Однако его утилитарность могла бы стать еще выше, если бы он обладал бы также минимальным сопротивлением двойному сдвигу, равным, по меньшей мере, 7733

кг/см². Хорошо известно, что подвергнутый термообработке титан (в частности Ti-6Al-4V) используется для аэрокосмических крепежных деталей, подвергнутых термообработке до гарантированного (т.е. минимального) сопротивления сдвигу 6679 кг/см². Следующим уровнем сопротивления сдвигу, практикуемым в аэрокосмической промышленности, является минимум 7733 кг/см² - уровень, который не достигается ни для одного из имеющихся на рынке титановых сплавов, но достижим в случае различных стальных сплавов. Таким образом, для того, чтобы титан мог обеспечить 40%-ный номинальный выигрыш в весе при замене стали на титан в какой-либо высокопрочной аэрокосмической крепежной детали, титановый сплав должен обладать минимальным сопротивлением двойному сдвигу, равным 7733 кг/см². Для того чтобы добиться этого, учитывая обычный при тестировании разброс, типичные значения должны составлять, по крайней мере, приблизительно 8225 кг/см². При упомянутой выше корреляции, в соответствии с которой титановые сплавы обладают сопротивлением двойному сдвигу, которое обычно составляет 60% от сопротивления сдвигу, для того чтобы получить область сопротивлений двойному сдвигу вблизи, по меньшей мере, 8225 кг/см² (для обеспечения минимума 7733 кг/см²), этого можно было бы ожидать при обеспечении сопротивления сдвигу, по меньшей мере, 13709 кг/см² (т.е. в пределах от 13709 до примерно 15115 кг/см²) при «приемлемой ковкости». Таким образом, программа имеет и дополнительную цель: не только добиться указанных выше характеристик растяжения, но также и сопутствующих им значений сопротивления двойному сдвигу для обеспечения целевого сопротивления двойного сдвига с минимальным значением 7733 кг/см².

Согласно изобретению предлагается сплав на основе α - β -титана, обладающий сочетанием высокой прочности и ковкости и характеризующийся, по меньшей мере, на 20% более высокой ковкостью при данном значении прочности, сопоставимой с прочностью описанного выше сплава Ti-17.

Более конкретно, сплав может обладать указанным выше сопротивлением двойному сдвигу, равным, по меньшей мере, 7733 кг/см².

Сплав может, кроме того, обладать сопротивлением сдвигу, по меньшей мере, 13709 кг/см². Более конкретно, прочность на растяжение может лежать в пределах от 13709 до 15115 кг/см².

Сплав на основе α - β -титана согласно изобретению, содержит (в мас.%): 3,2-4,2 Al, 1,7-2,3 Sn, 2-2,6 Zr, 2,9-3,5 Cr, 2,3-2,9 Mo, 2-2,6 V, 0,25-0,75 Fe, 0,01-0,8 Si, до 0,21 кислорода и в качестве баланса Ti и случайные примеси.

Более конкретно, согласно изобретению сплав на основе α - β -титана может содержать (в мас.%): примерно 3,7 Al, примерно 2 Sn, примерно 2,3 Zr, примерно 3,2 Cr, примерно 2,6 Mo, примерно 2,3 V, примерно 0,5 Fe, примерно 0,06 Si, примерно до 0,18 кислорода и в качестве баланса Ti и случайные примеси.

Этот сплав может обладать прочностью на растяжение выше 14060 кг/см², ковкостью выше 20% RA и сопротивлением двойному сдвигу выше 7733 кг/см².

Осуществление изобретения

Титановые сплавы согласно изобретению получали из лабораторных слитков с номинальными массой 45,36 кг и диаметром 11,4 см путем плавления с помощью двойной дуги в вакууме. Все слитки были тем же способом превращены в изделия в форме бруса с целью сведения к минимуму разброса свойств, обусловленного разницей в макроструктуре и/или микроструктуре. Была использована следующая последовательность операций:

Штамповка в β -фазе при 975°C до размера 4,45 см².

Определение температуры α/β -превращения.

Прокатка α - β -фазы при номинальной температуре на 20°C ниже минимальной температуры существования 100%-ной β -фазы для каждого сплава с образованием квадратного бруса размером 1,9 см.

Брус, подвергнутый термообработке при номинальной температуре, выбранной в

пределах от 42 до 80°C ниже температуры α/β -превращения.

Выдержка при разных температурах с целью создания ряда уровней прочность/ковкость.

Для всего материала было установлено наличие собственной α - β -микроструктуры, состоящей по существу из равноосной первичной альфа в вызревшей β -матрице.

Таблица 2

Плавки первой итерации - Химический состав и температура α/β -превращения

Плавка №	Al	Sn	Zr	Cr	Mo	V	Fe	Si	Кислород	Температура α/β -превращения
V8226	5,05	1,93	2,09	4,04	4,00	0,00	0,22	0,014	0,110	870
V8227	4,99	2,09	1,96	4,34	4,33	1,56	0,59	0,027	0,120	835
V8228	3,79	1,90	2,32	3,30	2,61	2,43	0,48	0,032	0,164	835
V8229	4,00	1,84	2,16	1,89	3,69	1,42	1,14	0,024	0,116	870
V8230	3,85	1,93	2,17	2,50	3,96	1,50	1,20	0,025	0,181	870
V8231	3,75	1,96	1,98	1,56	3,98	2,92	1,28	0,037	0,173	835

* Химический состав в мас.%, температура α/β -превращения в °C

В таблице 2 приводится ряд составов, которые получали при первой итерации плавов лабораторных масштабов. Эталонным составом Ti-17 является плавка V8226. Отметим, что в эталонном сплаве Ti-17 отсутствует добавка ванадия, нет специально добавленного кремния (0,014% Si относится к обычному «остаточному» уровню для титановых сплавов, к которым кремний не добавляется) и уровень кислорода в пределах от 0,08 до 0,13, что соответствует обычным промышленным техническим условиям для Ti-17.

Остальные приведенные в таблице 2 составы представляют собой экспериментальные сплавы, которые отличаются от эталонного сплава Ti-17 добавками и модификациями. Одной из основных добавок является ванадий. Известно, что этот элемент характеризуется значительной растворимостью в α -фазе (более 1%), благодаря чему его добавляют для специфического упрочнения этой фазы в образующемся двухфазном α - β -сплаве. Эта добавка является значимой, поскольку другие β -стабилизаторы в сплаве Ti-17: Cr, Mo и Fe обладают весьма ограниченной растворимостью в α -фазе. К числу других добавок относятся железо и высокий уровень кислорода. В таблице 2 приведена также температура α/β -превращения для каждого состава.

Таблица 3

Результаты испытаний на растяжение первой итерации

Плавка	Выдержка	YS (кг/см ²)	UTS (кг/см ²)	%EI	%RA
V8226	510/16	15044	15607	7	9
	"	14904	15466	5	12
	540/12	14693	16661	6	13
	"	14763	15396	5	12
	555/8	14271	14552	7	17
	"	13919	14412	6	15
V8227	595/8	13427	13849	10	29
	"	13427	13849	9	25
	510/16	15958	16450	4	9
	"	16169	16802	5	15
	540/12	15607	15607	6	15
	"	15818	16239	5	19
V8228	555/8	15044	15536	8	15
	"	14974	15466	6	12
	595/8	14412	14833	9	21
	"	14130	14552	10	17
	510/16	14482	15044	8	22
	"	14552	14974	9	23
V8229	540/12	13849	14412	10	26
	"	13638	14130	14	39
	555/8	13357	13638	11	31
	"	13287	13498	13	44

		595/8	12654	12795	13	40
		"	12584	12584	13	39
	V8229	510/16	14622	15747	6	12
		"	14693	15325	7	11
5		540/12	14412	14693	8	17
		"	14060	14622	8	19
		555/8	13216	13919	7	19
		"	13146	13990	11	26
		595/8	12373	13216	11	41
		"	12513	13146	12	38
10	V8230	510/16	14904	15466	6	14
		"	14904	15396	9	20
		540/12	14341	14833	11	26
		"	13849	14622	9	16
		555/8	13919	14341	10	28
15		"	13709	14201	9	23
		595/8	12795	13427	10	25
		"	13146	13638	12	38
	V8231	510/16	14622	15466	6	18
		"	14622	15466	8	15
		540/12	14060	14552	9	23
20		"	13990	14622	10	28
		555/8	13568	13709	10	22
		"	13427	13990	11	33
		595/8	12935	13287	11	36
		"	12935	13357	12	34
25	*Весь материал подвергнут термообработке при температуре на 45°C ниже температуры α/β -превращения, а все операции выдержки выражены в °C/час					

						Таблица 4
			Регрессионный анализ данных на растяжение первой итерации			
	Плавка №	Уравнение	r^2	Рассчитанное значение %EI при 15115 кг/см ² UTS	Рассчитанное значение %EI при 13709 кг/см ² UTS	
30	V8226	%EI=26,0-0,0897 UTS	0,46	6,7	8,5	
	V8227	%EI=46,8-0,1802 UTS	0,84	8,1	11,1	
	V8228	%EI=37,3-0,1313 UTS	0,60	9,1	11,7	
	V8229	%EI=41,7-0,1635 UTS	0,64	6,5	9,2	
	V8230	%EI=31,7-0,1078 UTS	0,42	8,5	10,7	
	V8231	%EI=38,6-0,1425 UTS	0,81	8,0	10,8	
35	Плавка №	Уравнение	r^2	Рассчитанное значение %EI при 15115 кг/см ² UTS	Рассчитанное значение %EI при 13709 кг/см ² UTS	
	V8226	%RA=101,0-0,3966 UTS	0,62	15,7	23,7	
	V8227	%RA=49,1-0,1513 UTS	0,20	16,5	19,6	
	V8228	%RA=138,0-0,5315 UTS	0,66	23,7	34,6	
	V8229	%RA=181,7-0,77089 UTS	0,85	13,5	29,8	
	V8230	%RA=125,1-0,4915 UTS	0,48	19,4	28,6	
	V8231	%RA=134,5-0,5325 UTS	0,71	20,0	30,7	

40 В таблице 3 приведены данные по одноосевому растяжению, полученные после первой итерации составов экспериментальных сплавов в таблице 2, которые были переработаны в брус и подвергнуты термообработке. В таблице 4 представлен регрессионный анализ данных таблицы 3.

45 Первым пунктом, который должен быть отмечен, является сопоставление приведенных в таблице 3 характеристик растяжения материала Ti-17 (плавка Ti-17 лабораторного масштаба) с характеристиками, приведенными в таблице 2 (плавка Ti-17 производственного масштаба). Отметим, что рассчитанные значения для %EI плавки лабораторного масштаба составляют 78 и 83% от значений полноразмерных плавки при 13709 и 15115 кг/см² соответственно, а рассчитанные значения для %RA составляют 67 и 62% при соответствующих прочностях. Эти данные четко подтверждают значительное ухудшение плавки лабораторного масштаба по сравнению с полноразмерными плавками и усиливают необходимость сравнивать результаты для плавки сопоставимых масштабов.

Приведенные в таблице 4 результаты показывают, что плавка V8228 обеспечивает наилучшее сочетание ковкости и значений прочности от 13709 до 15115 кг/см², намного более высокое, чем у эталонного сплава Ti-17. Действительно, по сравнению с эталонным сплавом Ti-17 значения %EI для плавки V8228 выше на 38 и 36%, а значения %RA выше на 46 и 51% при значениях прочности 13709 и 15115 кг/см² соответственно намного выше намеченного улучшение на, по меньшей мере, 20%.

Дальнейшее изучение данных таблицы 4 показывает, что во всех за исключением двух случаях экспериментальные сплавы из таблицы 2 демонстрируют улучшенные свойства по сравнению с эталонным сплавом Ti-17. Не показали улучшения по сравнению с эталонным сплавом Ti-17 только рассчитанные %RA для плавки V8227 при 13709 кг/см² и %EI для V8229 при 15115 кг/см². Из этих результатов делаются следующие выводы:

Сплавы с добавками ванадия более эффективны по сравнению с теми же сплавами без ванадия. Эффективность добавки ванадия максимальна при его добавлении в количестве порядка 2,4%.

Сплавы с повышенным уровнем кислорода более эффективны по сравнению со сплавами с пониженным уровнем кислорода.

Добавление железа сверх примерно 0,5%, судя по всему, не дает преимуществ.

Пониженное содержание алюминия (ниже примерно 4%), по-видимому, благоприятно.

Все экспериментальные плавки имели несколько более высокое содержание кремния по сравнению с его содержанием в стандартном Ti-17 (предположительно по причине очень низкого содержания кремния в используемом в качестве компонента ванадиевом сплаве). Несколько более высокое содержание кремния не оказывало вредного действия.

Таблица 5

Плавки первой итерации - Химический состав и температура α/β -превращения

Плавка №	Al	Sn	Zr	Cr	Mo	V	Fe	Si	Кислород	Температура α/β -превращения
V8247	3,65	1,96	2,39	3,23	2,55	2,37	0,50	0,035	0,167	865
V8248	3,72	2,01	2,44	3,33	2,60	2,38	0,50	0,034	0,222	870
V8249	3,62	1,94	2,31	3,16	2,50	2,36	0,53	0,069	0,208	875
V8250	3,64	1,96	2,31	3,20	2,57	2,37	0,48	0,070	0,174	860
V8251	3,13	1,97	2,48	3,17	2,52	2,35	0,48	0,035	0,164	855
V8252	3,16	1,92	2,43	3,13	2,48	2,35	0,46	0,070	0,171	855

* Химический состав в мас.%, температура α/β -превращения в °C

Учитывая прекрасные характеристики, полученные для плавок первой итерации, было решено, что химический состав наилучшего сплава, а именно V8228, мог бы быть еще улучшен путем выполнения дополнительной итерации. В таблице 5 приведены плавки этой второй итерации. Первая плавка V8247 является в основном повторением плавки V8228. Это дает меру воспроизводимости результатов. Остальные плавки второй итерации вносят следующие изменения в состав V8228/V8247:

В плавке V8248 определяется до 0,222 мас.% кислорода - больше, чем в любой из плавок первой итерации.

В плавке V8249 определяется более высокий уровень кислорода (0,208%) в сочетании с более высоким уровнем кремния - вдвое выше, чем в V8247.

В плавке V8250 определяется только более высокий уровень кремния, т.е. без повышения уровня кислорода.

В плавках V8251 и V8252 определяются более высокие уровни алюминия (приблизительно на 0,5% ниже, чем в V8547), в первом случае (V8251) при том же уровне кремния и во втором случае (V8252) при более высоком уровне кремния.

Таблица 6

Результаты испытаний на растяжение первой итерации

Плавка	Выдержка	YS (кг/см ²)	UTS (кг/см ²)	%EI	%RA
V8247	525/8	12724	13498	14	33
	"	13006	13779	12	28
	560/8	12232	12795	16	39
	"	12162	12795	16	41

5	V8248	605/8	11318	11881	17	47
		"	11318	11881	19	43
		625/8	10686	11389	18	50
		"	10756	11389	19	44
		525/8	13287	13990	10	22
10		"	13287	14060	12	30
		560/8	12584	13216	13	38
		"	12513	13146	12	43
		605/8	11740	12303	15	40
		"	11600	12162	14	38
15	V8249	625/8	10897	11459	16	43
		"	10897	11459	16	44
		525/8	13779	14482	9	20
		"	14201	14833	8	23
		560/8	13076	13709	12	34
20		"	13076	13709	10	20
		605/8	12373	12513	14	36
		"	12232	12795	12	27
		625/8	11318	11951	15	31
		"	11389	12584	15	33
25	V8250	525/8	13076	13849	11	33
		"	13006	13779	13	36
		560/8	12654	13287	13	31
		"	12513	13146	14	37
		605/8	11529	12021	15	38
30		"	11600	12162	15	37
		625/8	10897	11459	16	40
		"	10897	11529	15	33
		525/8	12021	12865	13	28
		"	12162	12935	14	33
35	V8251	560/8	11951	12584	14	37
		"	12162	12795	13	32
		605/8	11107	11670	17	46
		"	11107	11740	14	41
		625/8	10475	11107	18	47
40	V8252	"	10475	11107	18	43
		525/8	12303	13076	13	32
		"	12373	13357	10	27
		560/8	11810	12373	13	36
		"	11560	12232	13	35
45		605/8	10967	11560	16	42
		"	10686	11248	17	39
		625/8	10334	10967	16	39
		"	10334	11037	18	40

*Весь материал был подвергнут термообработке при температуре на 45°C ниже температуры α/β-превращения, а все операции выдержки выражены в °C/час

45	Регрессионный анализ данных на растяжение второй итерации					Таблица 7
	Плавка №	Уравнение	r ²	Рассчитанное значение %EI при 15115 кг/см ² UTS	Рассчитанное значение %EI при 13709 кг/см ² UTS	
50	V8247	%EI=46,7-0,1719 UTS	0,88	9,7	13,2	
	V8248	%EI=38,2-0,1364 UTS	0,88	8,9	11,6	
	V8249	%EI=43,1-0,1659 UTS	0,94	7,4	10,7	
	V8250	%EI=35,2-0,1170 UTS	0,89	10,0	12,4	
	V8251	%EI=45,3-0,1755 UTS	0,81	7,6	11,1	
	V8252	%EI=47,0-0,1906 UTS	0,87	6,0	9,8	
50	Плавка №	Уравнение	r ²	Рассчитанное значение %EI при 15115 кг/см ² UTS	Рассчитанное значение %EI при 13709 кг/см ² UTS	
	V8247	%RA=130,2-0,5047 UTS	0,87	21,1	31,3	
	V8248	%RA=111,2-0,4084 UTS	0,62	23,4	31,5	

V8249	%RA=83,85-0,2952 UTS	0,68	20,4	26,3
V8250	%RA=53,5-0,0993 UTS	0,21	32,1	34,1
V8251	%RA=13639-0..5726 UTS	0,84	13,8	25,2
V8252	%RA=93,7-0..3370 UTS	0,81	21,2	28,0

5 Плавки лабораторного масштаба второй итерации были обработаны, как было описано для плавов первой итерации. Были проведены также и тесты на растяжение, а результаты суммированы в таблице 6. Эти данные были проанализированы методом регрессионного анализа, а результаты приведены в таблице 7.

10 Из таблицы 7 могут быть сделаны несколько выводов. Во-первых, корреляция между плавкой V8228 первой итерации и ее аналогом V8247 вполне удовлетворительна. Во-вторых, очевидно также, что сплав может выдерживать кислород до приблизительно 0,22% при низком уровне кремния, но наблюдается небольшое ухудшение свойств при более высоком уровне кремния в сочетании с более высоким уровнем кислорода. Повышенный уровень кремния, по-видимому, не приводит к значительному ухудшению свойств, если
15 уровень кислорода находится в промежуточной области вблизи примерно 0,17%. Наконец, пониженные уровни алюминия (ниже примерно 3,2%) являются, по-видимому, причиной более низкого качества по сравнению с более высокими уровнями, что дает основание полагать, что алюминий следует поддерживать на уровне приблизительно 3,2%. Во всех плавках промежуточный уровень алюминия составляет 3,6-3,7% и во всех плавках уровни
20 кремния либо низкие в сочетании с наивысшими уровнями кислорода, либо высокие или низкие в сочетании с промежуточными уровнями кислорода.

Таблица 8

Данные по растяжению и двойному сдвигу для выбранных плавов										
Плавка №	Растворная обработка, °C	Выдержка C/час	YS (кг/см ²)	UTS (кг/см ²)	%EI	%RA	Двойной сдвиг (кг/см ²)	Двойной сдвиг от UTS	Средний двойной сдвиг в % от UTS	
25 V8226	β-43°C	523/12	13076	14974	5	12	7451	49,8%		
"	"	"	13568	14201	9	17	7522	530%		
"	"	565/18	13216	13779	10	24	7451	54,1%		53,4%
"	"	565/8	12795	13287	12	33	7522	56,6%		
V8228	β-38°C		13849	14552	9	19	7873	54,1%		
30 "	"	193	14271	633	21	"		54,7%		
"	"	551/8	13287	13919	13	38	7592	54,5%		55,0%
"	"	"	13287	13919	9	35	7874	56,6%		
V8247	β-54°C	523/12	13427	14201	12	31	7733	54,5%		
"	"	"	неуд. тест			"				
35 "	"	551/12	13287	13919	13	38	"	56,1%		55,6%
"	"	"	13287	13919	9	35	"	56,1%		
V8250	β-71°C	496/12	13427	14341	11	29	7944	55,4%		
"	"	"	13427	14341	12	32	8155	56,9%		
"	"	523/12	13146	13919	12	38	7873	56,6%		55,9%
40 "	"	"	13216	13990	11	37	7663	54,8%		
"	β-49°C	523/12	14271	14974	8	16	7873	52,6%		
"	"	"	13498	14341	10	29	7944	55,4%		
"	"	551/8	12724	13427	12	42	7663	57,1%		55,2%
"	"	"	12865	13498	13	40	7522	55,7%		

45 Общее среднее: 55,0%

Для заключительного определения возможностей в отношении свойств полученных сплавов для тестирования на двойной сдвиг были выбраны четыре химических состава: плавка V8226 - эталонный сплав Ti-17; плавка V8228 - наилучшая из плавов первой итерации; плавка V8247 - аналог плавки V8228; и плавка V8250. Брусы из каждой плавки
50 подвергали термообработке на несколько градусов ниже соответствующих значений температуры α/β-превращения, после чего охлаждали воздухом от вентилятора и после этого выдерживали в различных условиях с целью достижения уровней прочности в заданном интервале от 13709 до 15115 кг/см². Эти брусы затем тестировали как на

стандартные характеристики одноосевого напряжения, так и на двойной сдвиг. Результаты приведены в таблице 8.

Из приведенных в таблице 8 данных может быть сделано несколько выводов. Во-первых, значения сопротивления двойному сдвигу плавок лабораторных размеров были близки к 55% от соответствующих значений UTS, причем эталонная плавка Ti-17 (V8226) обладает наиболее низким средним значением при 53,4%. Поскольку брус из промышленной плавки Ti-17 обладает средним значением сопротивления двойному сдвигу, равным 59,8% UTS, имеет место снижение на 6,4%, т.е. несколько более 10 относительных %, что связано с разницей между лабораторной и промышленной плавками. Как отмечалось выше в отношении ковкости, это не является неожиданным, если учесть отсутствие улучшения макроструктуры при небольших лабораторных плавках. Однако это показывает, что от составов лабораторных размеров можно было бы ожидать номинально на 10% более высоких значений, если бы они были приготовлены из более крупных промышленных плавок. Такое повышение могло бы привести приведенные в таблице 8 данные для лабораторных плавок в область значений сопротивления двойному сдвигу от 8225 до 9069 кг/см², которые были бы достаточны для удовлетворения минимальной поставленной цели - 7733 кг/см².

Формула изобретения

1. Сплав на основе α - β -титана, содержащий, мас. %: 3,2-4,2 Al, 1,7-2,3 Sn, 2,0-2,6 Zr, 2,9-3,5 Cr, 2,3-2,9 Mo, 2-2,6 V, 0,25-0,75 Fe, 0,01-0,8 Si, до 0,21 кислорода, Ti и случайные примеси - остальное.
2. Сплав по п.1, отличающийся тем, что обладает ковкостью, характеризующейся относительным сужением более чем 20%.
3. Сплав по п.2, обладающий сопротивлением двойному сдвигу, равным 7733 кг/см² (110 ksi).
4. Сплав по п.2, обладающий прочностью на растяжение от 13709 кг/см² (195 ksi) до 15115 кг/см² (215 ksi).
5. Сплав на основе α - β -титана, содержащий, мас. %: примерно 3,7 Al, примерно 2,0 Sn, примерно 2,3 Zr, примерно 3,2 Cr, примерно 2,6 Mo, примерно 2,3 V, примерно 0,5 Fe, примерно 0,06 Si, примерно до 0,18 кислорода, Ti и случайные примеси - остальное.
6. Сплав по п.5, обладающий прочностью на растяжение 14060 кг/см² (200 ksi) и ковкостью, характеризующейся относительным сужением более чем 20%, и сопротивлением двойному сдвигу выше 7733 кг/см² (110 ksi).