



(51) МПК
C22C 14/00 (2006.01)
C22F 1/18 (2006.01)
B64C 25/00 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011153275/02, 28.05.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 28.05.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:

29.05.2009 US 61/182,619

06.07.2009 GB 0911684.9

(43) Дата публикации заявки: 10.07.2013 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 27.10.2013 Бюл. № 30

(56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: RU 2122040 C1, 20.11.1998. RU 2346999
 C2, 20.02.2009. US 2008/0011395 A, 17.01.2008.
 JP 8120371 A, 14.05.1996.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
 национальной фазе: 29.12.2011

(86) Заявка РСТ:
 US 2010/036679 (28.05.2010)

(87) Публикация заявки РСТ:
 WO 2010/138886 (02.12.2010)

Адрес для переписки:

109012, Москва, ул. Ильинка, 5/2, ООО
 "Союзпатент", О.И.Воль

(72) Автор(ы):

ФЭННИНГ Джон (US)

(73) Патентообладатель(и):

ТИТАНИУМ МЕТАЛС

КОРПОРЕЙШН (US)

**(54) СПЛАВ, БЛИЗКИЙ К БЕТА-ТИТАНУ, ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ, ТРЕБУЮЩИХ ВЫСОКОЙ
 ПРОЧНОСТИ, И СПОСОБЫ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

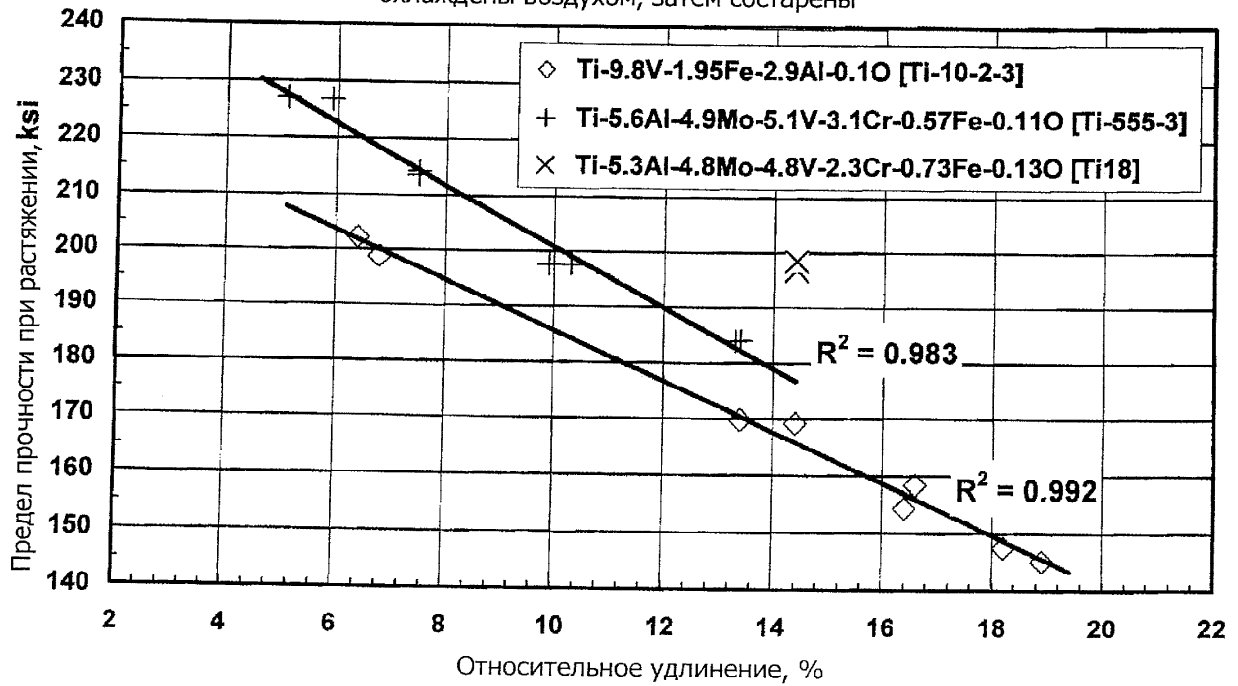
(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к высокопрочным титановым сплавам, и может быть использовано в авиационной промышленности. Высокопрочный псевдо-бета титановый сплав содержит, мас. %: 5,3-5,7 алюминия, 4,8-5,2 ванадия, 0,7-0,9 железа, 4,6-5,3 молибдена, 2,0-2,5 хрома, 0,12-0,16 кислорода, остальное титан и примеси и, при необходимости, один или более дополнительных элементов, выбранных из N, C, Nb, Sn, Zr, Ni, Co, Cu и Si, причем каждый дополнительный элемент присутствует

в количестве менее 0,1%, и общее содержание дополнительных элементов составляет менее 0,5 мас.%. При изготовлении сплава после его получения проводят гомогенизацию при температуре ниже температуры бета-превращения и его дисперсионное упрочнение. Компонент авиационной системы представляет собой шасси или крепежную деталь, изготовленный с использованием титанового сплава. Сплав обладает высокой прочностью, пластичностью, способностью к глубокой закалке. 5 н. и 20 з.п. ф-лы, 4 ил., 3 табл., 3 пр.

Зависимость предела прочности при растяжении по отношению к пластичности
Сравнительное исследование изготовленных в лабораторных условиях
Ti-10-2-3 и Ti-5553 и Ti18

Все материалы гомогенизированы при температуре ниже температуры фазового превращения,
охлаждены воздухом, затем состарены



Фиг. 4

RU 2496901 C2

RU 2496901 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C22C 14/00 (2006.01)
C22F 1/18 (2006.01)
B64C 25/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2011153275/02, 28.05.2010**

(24) Effective date for property rights:
28.05.2010

Priority:

(30) Convention priority:
29.05.2009 US 61/182,619
06.07.2009 GB 0911684.9

(43) Application published: **10.07.2013 Bull. 19**

(45) Date of publication: **27.10.2013 Bull. 30**

(85) Commencement of national phase: **29.12.2011**

(86) PCT application:
US 2010/036679 (28.05.2010)

(87) PCT publication:
WO 2010/138886 (02.12.2010)

Mail address:

109012, Moskva, ul. Il'inka, 5/2, OOO
"Sojuzpatent", O.I.Vol'

(72) Inventor(s):

FEhNNING Dzhon (US)

(73) Proprietor(s):

TITANIUM METALS KORPOREJShN (US)

(54) **ALLOY CLOSE TO BETA-TITANIUM FOR APPLICATIONS REQUIRING HIGH STRENGTH, AND ITS MANUFACTURING METHODS**

(57) Abstract:

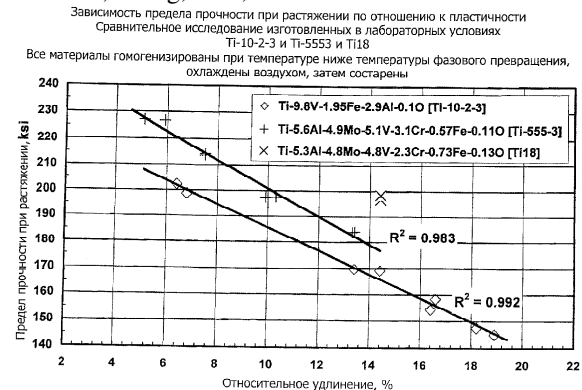
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: high-strength pseudo-beta titanium alloy contains the following, wt %: aluminium 5.3-5.7, vanadium 4.8-5.2, iron 0.7-0.9, molybdenum 4.6-5.3, chrome 2.0-2.5, oxygen 0.12-0.16, and titanium and impurities are the rest, and when necessary, one or more additional elements chosen from N, C, Nb, Sn, Zr, Ni, Co, Cu and Si; with that, each additional element is present in the amount of less than 0.1%, and total content of additional elements is less than 0.5 wt %. At production of alloy, after it is obtained, homogenisation is performed at the temperature below temperature of beta-conversion and its disperse strengthening. An aviation system component represents a landing gear or a fastening part, which

is made using titanium alloy.

EFFECT: alloy has high strength, ductility and ability for deep hardening.

25 cl, 4 dwg, 3 tbl, 3 ex



Фиг. 4

RU 2 496 901 C2

RU 2 496 901 C2

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Настоящая заявка имеет притязания на приоритет заявки US 61/182,619, поданной 29 мая 2009 и заявки UK 0911684.9, поданной 06 июля 2009, которые во всей полноте включены ссылкой, как если бы полностью были изложены в настоящем описании.

Область техники, к которой относится изобретение

Это раскрытие в основном относится к высокопрочным титановым сплавам и способам его изготовления. Сплав преимущественно используют в применениях, в которых требуется комбинация высокой прочности, способности к глубокой закалке и превосходной пластичности.

Известный уровень техники

Традиционно различные титановые и стальные сплавы используются для производства авиационных компонентов. Использование титановых сплавов является предпочтительным, так как оно приводит к получению более легких компонентов, чем выполненные из стальных сплавов.

Пример такого титанового сплава раскрыт в US 7,332,043 ("патент' 043") (Tetyukhin и др.), который описывает использование сплава Ti-555-3, состоящего из 5% алюминия, 5% молибдена, 5% ванадия, 3% хрома и 0,4% железа в авиационной технике. Однако сплав Ti-555-3 не обеспечивает требуемую высокую прочность, способность к глубокой закалке и превосходную пластичность, необходимую для важных применений в авиационной промышленности (например, механизм для посадки). Кроме того, патент 043 не раскрывает использование кислорода в сплаве Ti-555-3, важного элемента в составе титановых сплавов. Процентное содержание кислорода часто целенаправленно регулируют для оказания существенного влияния на прочностные характеристики.

Другой пример представлен в US 2008/0011395 (далее "заявка' 395"), который описывает титановый сплав, который включает алюминий, молибден, ванадий, хром, и железо. Однако диапазоны весового процентного содержания элементов сплава, представленные в публикации, чрезмерно широки. Например, сплавы Ti-5Al-4.5V-2Mo-1Cr-0.6Fe (VT23) и Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe (VT22) легко попадают в пределы указанных диапазонов весового процентного содержания. Эти сплавы стали общедоступными до 1976. Кроме того, предпочтительные диапазоны весовых процентов указанные в заявке 395 приводят к неприемлемой комбинации прочность-пластичность. Поэтому в сплавах не достигнута требуемая высокая прочность, способность к глубокой закалке и превосходная пластичность, необходимые для важных применений в авиационной промышленности, таких как механизм для посадки.

В связи с этим существует потребность в сплаве с улучшенной прочностью, способностью к глубокой закалке и превосходной пластичностью, соответствующим требованиям важных применений в авиационной промышленности. Решающими свойствами для такого продукта являются высокий предел прочности на разрыв (например, предел прочности на разрыв ("TYS") и предел прочности при растяжении ("UTS"), модуль упругости, относительное удлинение при разрыве и коэффициент вытяжки ("RA"). Кроме того, существует потребность в улучшенных способах производства и обработки такого сплава для дальнейшего улучшения его характеристик.

Сущность изобретения

В соответствии с вышеописанными проблемами, существующими потребностями и целями, раскрыт высокопрочный сплав близкий к бета титану. В одном

осуществлении титановый сплав включает, в % мас.: 5,3-5,7% алюминия, 4,8-5,2% ванадия, 0,7-0,9% железа, 4,6-5,3% молибдена, 2,0-2,5% хрома и 0,12-0,16% кислорода, остальное титан и неизбежные примеси.

В другом осуществлении отношение бета изоморфных β_{ISO} к бета эвтектоидным β_{EUT} стабилизаторам титанового сплава составляет 1,2-1,73, или более определенно 1,22-1,73, причем отношение бета изоморфных к бета эвтектоидным стабилизаторам определено как:

$$\frac{\beta_{ISO}}{\beta_{EUT}} = \frac{Mo + \frac{V}{1,5}}{\frac{Cr}{0,65} + \frac{Fe}{0,35}}$$

В уравнениях, предоставленных в этом описании, Mo, V, Cr и Fe представляют соответственно весовой процент молибдена, ванадия, хрома и железа в титановом сплаве. В одном осуществлении величина бета изоморфная составляет 7,80-8,77 и в отдельном осуществлении около 8,33. В другом осуществлении величина бета эвтектоидная составляет 5,08-6,42 и в отдельном осуществлении около 5,82. В отдельном осуществлении отношение бета изоморфного к бета эвтектоидному стабилизатору составляет около 1,4 или более определенно 1,43.

В другом осуществлении коэффициент эквивалентности молибдена (Mo_{eq}) титанового сплава составляет 12,8-15,2, причем коэффициент эквивалентности молибдена определен как:

$$Mo_{eq} = Mo + \frac{V}{1,5} + \frac{Cr}{0,65} + \frac{Fe}{0,35}$$

В отдельном осуществлении коэффициент эквивалентности молибдена составляет около 14,2. В другом осуществлении коэффициент эквивалентности алюминия титанового сплава (Al_{eq}) составляет 8,5-10,0, причем коэффициент эквивалентности алюминия определен как:

$$Al_{eq} = Al + 27O$$

В этом уравнении Al и O представляют весовой процент алюминия и кислорода соответственно, в титановом сплаве. В отдельном осуществлении коэффициент эквивалентности алюминия составляет около 9,3. В другом осуществлении температура превращения бета фазы титанового сплава (T_{β}) составляет около 1557-1627°F (около 847-886°C), причем температура превращения бета фазы в °F определена как:

$$T_{\beta} = 1594 + 39,3Al + 330O + 1145C + 1020N - 21,8V - 32,5Fe - 17,3Mo - 70Si - 27,3Cr.$$

В этом уравнении C, N и Si представляют % мас. углерода, азота и кремния соответственно, в титановом сплаве. В отдельном осуществлении температура превращения бета фазы составляет около 1590°F (около 865°C). В отдельном осуществлении % мас. алюминия составляет около 5,5%, % мас. ванадия составляет около 5,0%, % мас. железа составляет около 0,8%, % мас. молибдена составляет около 5,0%, % мас. хрома составляет около 2,3% и/или % мас. кислорода составляет около 0,14%.

Согласно одному осуществлению, сплав может достигать превосходной прочности на растяжение. В качестве примера, сплав способен достичь предела прочности на разрыв ("TYS"), по меньшей мере, 170 килофунтов на квадратный дюйм (ksi) и предел прочности при растяжении ("UTS"), по меньшей мере, 180 ksi, модуль упругости, по меньшей мере, 16,0 мегафунтов на квадратный дюйм (Msi), относительное удлинение

при разрыве, по меньшей мере, 10%, и/или и коэффициент вытяжки ("RA"), по меньшей мере, 25%.

Согласно другому осуществлению сплав может достигать превосходной усталостной стойкости. Например, сплав способен достичь усталостного ресурса, по меньшей мере, 200000 циклов, при испытании на усталость гладкого образца при осевой нагрузке в соответствии со стандартом ASTM E606 с переменной деформацией +0,6% и -0,6%.

Согласно осуществлению состав сплава, содержащего железо 0,7-0,9% мас., достигает требуемой высокой прочности, способности к глубокой закалке и превосходной пластичности, необходимых для критических применений в авиационных компонентах, таких как механизм для посадки. Этот результат является особенно неожиданным, учитывая известный уровень техники, в котором сообщается о преимуществах использования более низкого количества железа. Например, "патент '043" раскрывают, что использование концентраций железа ниже 0,5% мас. необходимо для достижения более высокого уровня прочности для крупноразмерных деталей.

В соответствии с другим осуществлением изобретения предложен компонент авиационной системы, включающий высокопрочный близкий к бета форме титановый сплав, описанный в изобретении. В отдельном осуществлении компонент авиационной системы включает механизм для посадки.

В соответствии с другим осуществлением изобретения предложен способ изготовления титанового сплава для использования в применениях, требующих высокой прочности, способности к глубокой закалке и превосходной пластичности. Способ включает первоначально получение высокопрочного близкого к бета форме титанового сплава, включающего в % мас., 5,3-5,7% алюминия, 4,8-5,2% ванадия, 0,7-0,9% железа, 4,6-5,3% молибдена, 2,0-2,5% хрома и 0,12-0,16% кислорода, титан и неизбежные примеси остальное, выполнение гомогенизации титанового сплава при температурах ниже температуры превращения бета фазы (например, температура до фазового превращения) и дисперсионного упрочнения титанового сплава.

В некоторых осуществлениях способ изготовления также включает вакуумную дуговую переплавку сплава и/или горячую штамповку и прокатку титанового сплава ниже температуры превращения бета фазы. В отдельном осуществлении раскрытый способ производства высокопрочного, со способностью к глубокой закалке и превосходной пластичностью сплава используют для изготовления компонентов авиационных систем и более определенно для изготовления механизма для посадки.

Прилагаемые фигуры, которые включены и составляют часть этого раскрытия, иллюстрируют определенные осуществления раскрытого предмета изобретения и служат пояснением его принципов.

Краткое описание чертежей

Фиг.1 является блок-схемой, иллюстрирующей способ в соответствии с типичным осуществлением раскрытого в настоящее время изобретения.

Фиг.2 является микроснимком типичного титанового сплава, полученного согласно осуществлению настоящего изобретения.

Фиг.3 является графиком, сравнивающим предел прочности при растяжении и относительное удлинение типичных титановых сплавов, изготовленных согласно осуществлениям настоящего изобретения, с этими характеристиками обычных титановых сплавов.

Фиг.4 является другим графиком, сравнивающим предел прочности на разрыв и

относительное удлинение типичных титановых сплавов, изготовленных согласно осуществлениям настоящего изобретения, с величинами, полученными для обычных титановых сплавов.

5 На всех фигурах одинаковые цифровые и буквенные обозначения, если не оговорено иное, используются для обозначения подобных признаков, элементов, компонентов или частей проиллюстрированных осуществлений. Кроме того, хотя предмет изобретения будет теперь описан подробно со ссылкой на фигуры, это раскрытие выполнено в связи с иллюстративными осуществлениями.

10 Осуществление изобретения

Раскрыт высокопрочный титановый сплав со способностью к глубокой закалке и превосходной пластичностью. Такой сплав идеален для использования в авиационной промышленности или в других подходящих применениях, где требуется высокая прочность, способность к глубокой закалке и превосходная пластичность.

15 Также раскрыты способы изготовления вышеуказанного титанового сплава, который является подходящим для использования в производстве авиационных компонентов или любых других подходящих применениях. Титановый сплав согласно различным осуществлениям, раскрытым в изобретении, особенно хорошо подходит для изготовления механизма для посадки, но возможны другие подходящие применения, такие как крепежные детали и другие авиационные компоненты.

В одном осуществлении предложен титановый сплав. Типичный сплав включает, в % мас., 5,3-5,7% алюминия, 4,8-5,2% ванадия, 0,7-0,9% железа, 4,6-5,3% молибдена, 2,0-2,5% хрома и 0,12-0,16% кислорода, остальное титан и неизбежные примеси.

25 Алюминий как легирующий элемент в титане является альфа стабилизатором, который увеличивает температуру, при которой устойчива альфа фаза. В одном осуществлении в сплаве присутствует 5,3-5,7% мас. алюминия, В отдельном осуществлении присутствует около 5,5% мас. алюминия. Если содержание алюминия превышает верхние пределы, раскрытые в этом описании, может проявляться избыточная альфа стабилизация и повышенная склонность к охрупчиванию из-за образования Ti_3Al . С другой стороны, наличие алюминия ниже пределов, раскрытых в этом описании, может неблагоприятно влиять на кинетику выделения альфа фазы во время старения.

35 Ванадий как легирующий элемент в титане является бета изоморфным стабилизатором, который понижает температуру превращения бета фазы. В одном осуществлении в сплаве присутствует 4,8-5,2% мас. ванадия. В отдельном осуществлении присутствует около 5,0% масс, ванадия. Если содержание ванадия превышает верхние пределы, раскрытые в этом описании, может проходить избыточная бета стабилизация, и не будет достигнут оптимум закаливаемости. С другой стороны, наличие ванадия ниже пределов, раскрытых в этом описании, может привести к недостаточной бета стабилизации.

45 Железо, как легирующий элемент в титане, является эвтектоидным бета стабилизатором, который понижает температуру превращения бета фазы, и железо является упрочняющим элемент в титане при температурах окружающей среды. В одном осуществлении в сплаве присутствует 0,7-0,9% мас. железа. В отдельном осуществлении присутствует около 0,8% мас. железа. Как указано выше, при использовании содержания железа 0,7-0,9% мас., могут быть достигнуты требуемая высокая прочность, способность к глубокой закалке и превосходная пластичность, например, в критических применениях в авиационных компонентах, таких как механизм для посадки. Если, однако содержание железа превышает верхние пределы,

раскрытые в этом описании, во время затвердевания слитка может проходить излишняя сегрегация раствора, что неблагоприятно скажется на механических свойствах. С другой стороны, использование содержания железа ниже пределов, раскрытых в этом описании, может давать сплав, который не достигает требуемой

5 высокой прочности, способности к глубокой закалке и превосходной пластичности. Это показано, например, на свойствах сплава Ti-555-3, описанного в патенте '043, и также испытанием, выполненным в примерах, описанных ниже.

Молибден как легирующий элемент в титане является изоморфным бета стабилизатором, который понижает температуру превращения бета фазы. В одном

10 осуществлении в сплаве присутствует 4,6-5,3% мас. молибдена. В отдельном осуществлении присутствует около 5,0% мас. молибдена. Если содержание молибдена превышает верхние пределы, раскрытые в этом описании, может проходить чрезмерная бета стабилизация, и не будет достигнут оптимум закаливаемости. С

15 другой стороны, наличие молибдена ниже пределов, раскрытых в этом описании, может привести к недостаточной бета стабилизации.

Хром является эвтектоидным бета стабилизатором, который понижает температуру превращения бета фазы в титане. В одном осуществлении в сплаве присутствует 2,0-

20 2,5% мас. хрома. В отдельном осуществлении присутствует около 2,3% мас. хрома. Если содержание хрома превышает верхние пределы, раскрытые в этом описании, может уменьшиться пластичность из-за присутствия эвтектоидных соединений. С другой стороны, содержание хрома ниже пределов, раскрытых в этом описании, может привести к пониженной закаливаемости.

Кислород, как легирующий элемент в титане, является альфа стабилизатором, и кислород является эффективным упрочняющим элементом в титановых сплавах при

25 температуре окружающей среды. В одном осуществлении в сплаве присутствует 0,12-0,16% мас. кислорода. В отдельном осуществлении присутствует около 0,14% мас. кислорода. Если содержание кислорода слишком низкое, может быть слишком низкой

30 прочность, температура превращения бета фазы и стоимость сплава может увеличиться, потому что для переплавки сплава не будет подходить использование отходов. С другой стороны, если содержание кислорода является слишком высоким, срок службы и стойкость к повреждениям могут быть ухудшены.

В соответствии с некоторыми осуществлениями настоящего изобретения, титановый сплав может также включать примеси или другие элементы, такие как N, C, Nb, Sn, Zr, Ni, Co, Cu, Si и т.п. для достижения требуемых свойств получаемого

35 сплава. В отдельном осуществлении эти элементы присутствуют в весовых процентах менее 0,1% каждый, и общее содержание этих элементов составляет менее 0,5% мас.

В соответствии с другим осуществлением изобретения отношение бета изоморфных β_{ISO} к бета эвтектоидным β_{EUT} стабилизаторам титанового сплава составляет 1,2-

40 1,73, или более определенно 1,22-1,73, причем отношение бета изоморфных к бета эвтектоидным стабилизаторам определено уравнением (I):

$$\frac{\beta_{ISO}}{\beta_{EUT}} = \frac{Mo + \frac{V}{1,5}}{\frac{Cr}{0,65} + \frac{Fe}{0,35}} \quad (1)$$

50 в уравнениях, предоставленных в этом описании, Mo, V, Cr и Fe представляют соответственно весовой процент молибдена, ванадия, хрома и железа в титановом сплаве. В одном осуществлении величина бета изоморфная составляет 7,80-8,77 и в

отдельном осуществлении около 8,33. В другом осуществлении величина бета эвтектоидная составляет 5,08-6,42 и в отдельном осуществлении около 5,82. В отдельном осуществлении отношение бета изоморфного к бета эвтектоидному стабилизатору составляет около 1,4 или более определенно 1,43.

5 Использование сплавов с отношением бета изоморфного к бета эвтектоидному стабилизатору 1,2-1,73 является существенным для достижения требуемых высокой прочности, способности к глубокой закалке и превосходной пластичности. Если отношение превышает верхние пределы, раскрытые в этом описании, то
10 закаливаемость будет снижена. С другой стороны, при отношении ниже пределов, раскрытых в этом описании, не будет достигнута требуемая высокая прочность, способность к глубокой закалке и превосходная пластичность. Это продемонстрировано, например, свойствами сплавов, описанных в заявке '395.

15 В соответствии с другим осуществлением коэффициент эквивалентности молибдена (Mo_{eq}) титанового сплава составляет 12,8-15,2, причем коэффициент эквивалентности молибдена определен уравнением (2):

$$Mo_{eq} = Mo + \frac{V}{1,5} + \frac{Cr}{0,65} + \frac{Fe}{0,35}. \quad (2)$$

20 В отдельном осуществлении коэффициент эквивалентности молибдена составляет около 14,2. В другом осуществлении коэффициент эквивалентности алюминия (Al_{eq}) титанового сплава составляет 8,5-10,0, причем коэффициент эквивалентности алюминия определен уравнением (3):

$$25 \quad Al_{eq} = Al + 27O \quad A(3)$$

В этом уравнении Al и O представляют весовой процент алюминия и кислорода соответственно в сплаве. В отдельном осуществлении коэффициент эквивалентности алюминия составляет около 9,3. В другом осуществлении температура превращения бета фазы титанового сплава (T_{β}) составляет около 1557-1627°F (около 847-886°C),
30 причем температура превращения бета фазы в °F определена уравнение (4):
 $T_{\beta} = 1594 + 39,3Al + 330O + 1145C + 1020N - 21,8V - 32,5Fe - 17,3Mo - 70Si - 27,3Cr. \quad (4)$

35 В этом уравнении C, N и Si представляют % мас. углерода, азота и кремния соответственно в титановом сплаве. В отдельном осуществлении температура превращения бета фазы составляет около 1590°F (около 865°C).

Сплав достигает превосходных свойств при растяжении, например, предела прочности на разрыв (TYS), по меньшей мере, 170 ksi и предел прочности при растяжении (UTS), по меньшей мере, 180 ksi, модуль упругости, по меньшей мере, 16,0 Msi, относительного удлинения при разрыве, по меньшей мере, 10%, и/или и
40 коэффициента вытяжки ("RA"), по меньшей мере, 25%. Определенные примеры свойств при растяжении, достигнутых типичными сплавами, раскрытыми в этом описании перечислены в примерах, представленных далее. Сплав также обладает превосходной стойкостью к усталости, способен к достижению, например,
45 усталостного ресурса, по меньшей мере, 200000 циклов, при испытании на усталость гладкого образца при осевой нагрузке в соответствии со стандартом ASTM E606 с переменной деформацией +0,6% и -0,6%.

50 В соответствии с другим осуществлением, предложен компонент авиационной системы, включающий вышеописанный высокопрочный титановый сплав близкий к бета форме. В отдельном осуществлении титановый сплав, представленный в описании, используется для изготовления механизма для посадки. Однако другие подходящие применения титанового сплава включают, но не ограничены,

крепежными деталями и другими авиационными компонентами.

В соответствии с другим осуществлением, предложен способ изготовления титанового сплава для использования в применениях, требующих высокой прочности, способности к глубокой закалке и превосходной пластичности. Способ включает

5 получение высокопрочного близкого к бета форме титанового сплава, состоящего по существу из, в % мас., 5,3-5,7% алюминия, 4,8-5,2% ванадия, 0,7-0,9% железа, 4,6-5,3% молибдена, 2,0-2,5% хрома и 0,12-0,16% кислорода, титан и неизбежные примеси

10 остальное, выполнение гомогенизации титанового сплава при температурах ниже температуры превращения бета фазы (например, ниже температуры превращения бета фазы), и выполнение дисперсионного упрочнения титанового сплава. Используемый титановый сплав может обладать всеми вышеописанными в заявке свойствами.

В некоторых осуществлениях способ изготовления также включает вакуумную дуговую переплавку сплава и/или горячую штамповку и прокатку титанового сплава

15 ниже температуры превращения бета фазы. В отдельном осуществлении раскрытый способ производства высокопрочного, со способностью к глубокой закалке и превосходной пластичностью сплава используют для изготовления компонентов авиационных систем и более определенно для изготовления механизма для посадки.

Фиг.1, которая представлена с целью иллюстрации, а не ограничения, является блок-схемой, представляющей типичный способ изготовления титановых сплавов. На

20 стадии 100 готовят необходимое количество сырья. Сырье может включать, например, первичное сырье, включающее титановую губку и любой из легирующих элементов, раскрытых в этом описании. Альтернативно, сырье может включать возвращаемые в

25 оборот сплавы титана, такие как станочная стружка или твердые детали из титановых сплавов соответствующего состава. Первичное и возвращаемое в оборот сырье могут быть смешаны в любой комбинации известного уровня техники.

После подготовки сырья на стадии 100 его плавят на стадии 110 для получения

30 слитка. Плавление может быть выполнено такими способами, как вакуумная дуговая переплавка, электронно-лучевое плавление, плазменно-дуговая плавка, плавка с расходуемым электродом под шлаком или любыми их комбинациями. В отдельном осуществлении финальную плавку на стадии 110 проводят вакуумной дуговой переплавкой. Затем слиток подвергают горячей штамповке и прокатке на стадии 120.

35 Горячую штамповку и прокатку выполняют ниже температуры превращения бета фазы (бета переход). Затем проводят гомогенизацию слитка на стадии 130, которую в отдельном осуществлении выполняют при температуре ниже температуры перехода. Гомогенизацию в этом осуществлении выполняют при температуре ниже на, по

40 меньшей мере, около 65°F температуры превращения бета фазы. Наконец, образцы в слитках дисперсионно упрочняют на стадии 140.

В некоторых осуществлениях стадии горячей штамповки и прокатки (120), гомогенизации (130) и дисперсионного упрочнения (140) регулируют так, чтобы

45 получить микроструктуру, состоящую из мелкодисперсных альфа частиц. Дополнительные детали типичного способа изготовления титановых сплавов описаны в последующих примерах.

Примеры

Вакуумную дуговую переплавку ("VAR") используют для изготовления слитка в

50 соответствии с осуществлениями, раскрытыми в этом описании, а так же для слитков обычных титановых сплавов, Ti-10-2-3 и Ti-555-3 для сравнения. Диаметр каждого слитка составляет около восьми дюймов и вес слитка около 60 фунтов. Химический состав сплавов в весовых процентах предоставлен в таблице 1 далее:

Таблица 1

Химический состав (% мас.) сплавов примера										
Сплав	Тип сплава	Al	V	Fe	Mo	Cr	O	N	Ni	MO _{eq}
Ti-10-2-3	Ti-10V-2Fe-3Al	2,97	10,09	1,799	0,01	0,013	0,144	0,009	0,009	11,9
Ti-555-3	Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr	5,49	4,94	,372	4,88	2,95	0,142	0,005	0,008	13,8
Сплав примера №1	Ti-5.5Al-5V-0.8Fe-2.3Cr-0.140	5,3	4,77	0,732	4,79	2,27	0,128	0,005	0,008	13,6

Заключительную горячую штамповку и прокатку слитков выполняют ниже температуры превращения бета фазы (бета переход). Затем образцы в слитках гомогенизируют при температуре ниже температуры перехода. Наконец проводят дисперсионное упрочнение образцов в слитках. Результаты испытаний представлены в таблице 2 далее:

Таблица 2

Свойства при растяжении образцов слитков								
Сплав	Гомогенизация	Старение	0,2% TYS (ksi)	UTS (ksi)	Модуль (Msi)	Относительное удлинение (%)	RA (%)	
Ti-10-2-3	1435°F, 1 час, охлаждение воздухом	975°F, 8 часов, охлаждение воздухом	157,2	168,2	15,3	7,7	20	
Ti-10-2-3			157,5	168,8	15,2	7,7	18	
Ti-555-3	1500°F, 1 час, охлаждение воздухом	1150°F, 8 часов, охлаждение воздухом	176,7	190,3	16,1	12,8	36	
Ti-555-3			177,7	191,2	16,2	13,0	33	
Способ примера №1	1500°F, 1 час, охлаждение воздухом	1125°F, 8 часов, охлаждение воздухом	184,1	196,8	16,2	14,4	46	
Способ примера №2			185,5	198,5	16,4	14,4	47	

Как показано в таблице 2, два слитка изготовлены согласно примерам способов №1 и №2, показывают более высокие характеристики, чем обычные сплавы, включая более высокую прочность, чем обычные слитки. Оптический микроснимок, представляющий микроструктуру, типичную для сплавов Ti примеров, полученных согласно осуществлениям, раскрытым в этом описании, предоставлен на фиг.2. Микроснимок показывает большое число первичных частиц альфа фазы, которые являются по существу равноосными с размерами около 0,5-5 микрон в диаметре. Первичные частицы альфа фазы видны в основном как белые частицы, диспергированные в дисперсионно упрочненной матрице (то есть, темный фон). Определенный сплав Ti, показанный на фиг.2, гомогенизирован при температуре 1500°F в течение 1 часа и затем охлажден воздухом до комнатной температуры. За этим следует дисперсионное упрочнение при 1050T в течение 8 часов и затем охлаждение до комнатной температуры при условиях окружающей среды.

Фиг.3 является графиком, сравнивающим предел прочности при растяжении и относительное удлинение титановых сплавов, изготовленных согласно осуществлениям настоящего изобретения, с аналогичными характеристиками Ti сплавов известного уровня техники. Данные, предоставленные на фиг.3, показывают, что у титановых сплавов примера, изготовленных согласно способам №1 и №2 примеров, более высокая прочность (например, значения TYS и UTS) и пластичность (например, относительное удлинение) по сравнению с обычными титановыми сплавами. Это вызвано уникальной комбинацией содержания элементов в весовых процентах, раскрытой в этом описании. График, представленный на фиг.4, аналогичен фиг.3, но с дополнительными данными, представляющими сплавы Ti известного уровня техники (например, сплавов Ti-10-2-3 и Ti-555-3). На фиг.4 данные, полученные для сплавов Ti примеров настоящего изобретения, обозначены как Ti18.

Слиток диаметром 32 дюйма (12 килофунтов) готовят тройной вакуумной дуговой переплавкой (TVAR) в соответствии с типичными осуществлениями, раскрытыми в этом описании, и однородность состава определяют по длине слитка. Состав слитка

определяют в пяти местах вдоль слитка, включая верх, середину верхней части, середину, середину нижней части и низ, и полученные результаты представлены в таблице 3 далее:

5

Таблица 3

Однородность состава типового слитка						
Элемент (% мас.) или свойство	Верх	Середина верхней части	Середина	Середина нижней части	Низ	Среднее
Al	5,56	5,65	5,55	5,60	5,50	5,57
C	0,012	0,014	0,012	0,012	0,011	0,012
Cr	2,30	2,35	2,33	2,36	2,38	2,34
Fe	0,711	0,722	0,731	0,749	0,787	0,740
Mo	5,12	5,17	5,07	5,08	4,94	5,08
N	0,007	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006
Ni	0,0035	0,0035	0,0035	0,0036	0,0039	0,004
O	0,146	0,148	0,146	0,148	0,142	0,146
Si	0,032	0,031	0,030	0,030	0,033	0,031
Sn	0,010	0,015	0,014	0,015	0,013	0,013
V	5,03	5,10	5,03	5,09	5,03	5,06
Сумма остальных [C, N, Ni, Si, Sn]	0,061	0,066	0,062	0,063	0,062	0,063
T_{β} , расчета. (°F)	1595	1596	1593	1593	1586	1593
T_{β} , расчета. (°C)	868	869	867	867	863	867
MO_{eq}	14,0	14,2	14,1	14,2	14,2	14,2
β_{ISO}	8,47	8,57	8,42	8,48	8,30	8,45
β_{EUT}	5,56	5,68	5,67	5,77	5,91	5,72
β_{ISO}/β_{EUT}	1,52	1,51	1,48	1,47	1,40	1,48
Al_{eq}	9,5	9,6	9,5	9,6	9,3	9,5

10

15

20

25

Результаты, представленные в таблице 3, показывают превосходную однородность по всей длине слитка, с отклонениями от среднего содержания менее или равными около 2,8% для всех определяемых элементов. Величины β_{ISO}/β_{EUT} , MO_{eq} , Al_{eq} и T_{β} , предоставленные в таблице 3, вычисляют с использованием уравнений 1-4 соответственно. Величины β_{ISO} и β_{EUT} вычисляют с использованием выражений, представленных в числителе и знаменателе уравнения 1, соответственно.

Для ясности при описании осуществлений настоящего изобретения, следующие термины определены, как указано ниже:

Предел прочности на разрыв: Условное растягивающее напряжение, при котором материал показывает заданный предел отклонения (0,2%) от пропорциональности напряжения и деформации.

Предел прочности при растяжении: Максимум условного растягивающего напряжения, который выдерживает материал, вычисленный из максимальной нагрузки при испытании прочности при растяжении до разрыва и исходного поперечного сечения образца.

Модуль упругости: При испытании прочности при растяжении, отношение напряжения к соответствующей деформации ниже предела упругой деформации.

Относительное удлинение: При испытании прочности при растяжении, увеличения рабочей длины образца (выраженное в процентах от исходной рабочей длины образца) после разрыва.

Коэффициент вытяжки: При испытании прочности при растяжении, уменьшение поперечного сечения растягиваемого образца (выраженное в процентах от исходного поперечного сечения) после разрыва.

Усталостный ресурс: Число циклов заданной деформации или напряжения, которое

выдерживает образец до появления обнаруживаемой трещины.

ASTM E606: стандартный метод усталостных испытаний с контролируемой деформацией.

Альфа стабилизатор: элемент, который при растворении в титане, вызывает увеличение температуры превращения бета фазы.

Бета стабилизатор: элемент, который при растворении в титане, вызывает уменьшение температуры превращения бета фазы.

Температура превращения бета фазы: самая низкая температура, при которой в титановом сплаве заканчивается аллотропное превращение кристаллической структуры из $\alpha+\beta$ в β .

Эвтектоидное соединение: интерметаллическое соединение титана и переходного металла, которое образуется при разложении богатой по титану β фазы.

Изоморфный бета стабилизатор: Элемент, стабилизирующий β фазу, у которого соотношения фаз подобны β титану и который не образует интерметаллические соединения с титаном.

Эвтектоидный бета стабилизатор: Элемент, стабилизирующий β фазу, способный образовывать интерметаллические соединения с титаном.

Другие осуществления изобретения будут очевидны для специалистов в данной области техники при рассмотрении описания и осуществлении изобретения, раскрытого в описании. Описание и примеры следует рассматривать только как иллюстративные, с объемом и сущностью изобретения, представленными в прилагаемой формуле изобретения.

Специалисты в данной области техники должны понимать, что настоящее изобретение не ограничено тем, что конкретно показано и описано в описании. Объем притязаний настоящего изобретения определен в соответствии с прилагаемой формулой изобретения. Кроме того, следует понимать, что вышеуказанное описание представляет только иллюстративные примеры осуществлений. Для удобства читателя вышеуказанное описание сосредоточено на представительных примерах возможных осуществлений, примерах, которые раскрывают принципы настоящего изобретения. Другие осуществления могут быть результатом различной комбинации частей различных осуществлений.

Описание не пытается исчерпывающе перечислить все возможные модификации. Не следует рассматривать как отказ от прав на дополнительные осуществления такие дополнительные осуществления, которые не могут быть представлены в качестве определенной части изобретения, и могут быть результатом различной комбинации описанных частей, или когда другие неописанные дополнительные осуществления могут быть доступными частично. Следует понимать, что многие из этих неописанных осуществлений полностью входят в объем притязаний прилагаемой формулы изобретения, а другие могут быть эквивалентными. Кроме того, все ссылки, публикации, US патенты и US заявки, цитированные в настоящем описании, включены ссылкой, как если бы они полностью были изложены в настоящем описании.

Все проценты являются весовыми процентами (% мас.) и в описании, и в формуле изобретения.

Формула изобретения

1. Высокопрочный псевдо-бета титановый сплав, содержащий, мас. %: 5,3-5,7 алюминия, 4,8-5,2 ванадия, 0,7-0,9 железа, 4,6-5,3 молибдена, 2,0-2,5 хрома, 0,12-0,16 кислорода, остальное титан и примеси, при необходимости, один или более

дополнительных элементов, выбранных из N, C, Nb, Sn, Zr, Ni, Co, Cu и Si, причем каждый дополнительный элемент присутствует в количестве менее 0,1%, и общее содержание дополнительных элементов составляет менее 0,5 мас.%.
 5

2. Титановый сплав по п.1, с отношением бета изоморфных к бета эвтектоидным стабилизаторам около 1,4, причем отношение бета изоморфных к бета эвтектоидным стабилизаторам определено как:

$$10 \quad \frac{\beta_{\text{ISO}}}{\beta_{\text{EUT}}} = \frac{\text{Mo} + \frac{\text{V}}{1,5}}{\frac{\text{Cr}}{0,65} + \frac{\text{Fe}}{0,35}}.$$

3. Титановый сплав по п.1, в котором мас.% алюминия составляет около 5,5.

4. Титановый сплав по п.2, в котором мас.% алюминия составляет около 5,5.

15 5. Титановый сплав по любому из пп.1-4, в котором мас.% ванадия составляет около 5,0.

6. Титановый сплав по любому из пп.1-4, в котором мас.% железа составляет около 0,8.

20 7. Титановый сплав по п.5, в котором мас.% железа составляет около 0,8.

8. Титановый сплав по любому из пп.1-4 или 7, в котором молибден составляет около 5,0 мас.%.
 9. Титановый сплав по п.5, в котором молибден составляет около 5,0 мас.%.

10. Титановый сплав по п.6, в котором молибден составляет около 5,0 мас.%.

25 11. Титановый сплав по любому из пп.1-4, 7, 9 или 10, в котором хром составляет около 2,3 мас.%.

12. Титановый сплав по п.5, в котором хром составляет около 2,3 мас.%.

13. Титановый сплав по п.6, в котором хром составляет около 2,3 мас.%.

30 14. Титановый сплав по п.8, в котором хром составляет около 2,3 мас.%.

15. Титановый сплав по любому из пп.1-4, 7, 9, 10, 12-14 в котором кислород составляет около 0,14 мас.%.

16. Титановый сплав по п.5, в котором кислород составляет около 0,14 мас.%.

17. Титановый сплав по п.6, в котором кислород составляет около 0,14 мас.%.

35 18. Титановый сплав по п.8, в котором кислород составляет около 0,14% масс.

19. Титановый сплав по п.11, в котором кислород составляет около 0,14 мас.%.

20. Компонент авиационной системы, представляющий собой шасси или крепежную деталь, изготовленный с использованием сплава по любому из пп.1-19.

40 21. Способ изготовления высокопрочного псевдо-бета титанового сплава, включающий:

получение сплава по любому из пп.1-19,

гомогенизацию титанового сплава при температуре ниже температуры бета превращения и

45 дисперсионное упрочнение титанового сплава.

22. Способ по п.21, в котором сплав получают вакуумно-дуговым переплавом.

23. Способ по п.21 или 22, который дополнительно включает горячее штампование и прокатку титанового сплава ниже температуры бета превращения.

50 24. Способ изготовления компонента авиационной системы, который представляет собой шасси или крепежную деталь, включающий формирование высокопрочного псевдо-бета титанового сплава, изготовленного способом по любому из пп.21-23.

25. Применение высокопрочного псевдо-бета титанового сплава по любому из пп.1-

19 для изготовления компонента авиационной системы, который представляет собой шасси или крепежную деталь.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50



ФИГ. 1



ФИГ. 2



ФИГ. 3