



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C22C 14/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017116695, 12.05.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.05.2017

Дата регистрации:
21.12.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.05.2017

(43) Дата публикации заявки: 13.11.2018 Бюл. № 32

(45) Опубликовано: 21.12.2018 Бюл. № 36

Адрес для переписки:
115580, Москва, а/я 31, Месяшной Н.В.

(72) Автор(ы):

Алтынбаев Сергей Владимирович (RU),
Рассказов Алексей (DE),
Митяшкин Олег Александрович (RU),
Уэлст Джонатон Уолтер Томас (AU)

(73) Патентообладатель(и):

Хермит Эдванст Технолоджиз ГмбХ (DE)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: DE 102006031469 A1, 10.01.2008.
RU 2175992 C1, 20.11.2001. CN 104232993 B,
08.03.2017. CN 103540796 A, 29.01.2014. US
2893864 A1, 07.07.1959.

(54) Сплав на основе титана

(57) Реферат:

Изобретение относится к области ультразвуковых технологических систем различного назначения и может быть использовано для создания ультразвуковых электродов, обладающих высоким ресурсом работы. Сплав на основе титана для ультразвуковых волноводов содержит, мас. %: алюминий 5,8-8,0, молибден 2,8-3,8, цирконий 0,6-0,9, кремний 0,20-0,40, железо $\leq 0,3$, кислород $\leq 0,15$, углерод $\leq 0,1$, водород $\leq 0,015$, азот $\leq 0,05$, титан – остальное. При этом он имеет равномерную, мелкодисперсную микроструктуру

с размером зерна 0,5-5,0 мкм, содержащую равноосную α -фазу в количестве 40-80% в трансформированной β -матрице без непрерывной сети α -фазы на границах β зерен. Расширяется ультразвуковой диапазон работы волновода в область более высоких частот. Повышается безопасность работы ультразвуковых волноводов и качество выполняемых работ ультразвуковыми электродами, обладающими повышенным ресурсом работы в области высокого ультразвукового диапазона. 1 з.п. ф-лы, 4 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22C 14/00 (2006.01)

(21)(22) Application: **2017116695, 12.05.2017**

(24) Effective date for property rights:
12.05.2017

Registration date:
21.12.2018

Priority:

(22) Date of filing: **12.05.2017**

(43) Application published: **13.11.2018** Bull. № 32

(45) Date of publication: **21.12.2018** Bull. № 36

Mail address:

115580, Moskva, a/ya 31, Mesyashnoj N.V.

(72) Inventor(s):

**Altynbaev Sergej Vladimirovich (RU),
Rasskazov Aleksej (DE),
Mityashkin Oleg Aleksandrovich (RU),
Uelst Dzhonaton Uolter Tomas (AU)**

(73) Proprietor(s):

Khermit Edvanst Tekhnolodzhiz GmbH (DE)

(54) **TITANIUM-BASED ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to the field of ultrasonic technological systems for various purposes and can be used to create ultrasonic electrodes with a high service life. Alloy based on titanium for ultrasonic waveguides contains, by weight, %: aluminum 5.8–8.0, molybdenum 2.8–3.8, zirconium 0.6–0.9, silicon 0.20–0.40, iron ≤0.3, oxygen ≤0.15, carbon ≤0.1, hydrogen ≤0.015, nitrogen ≤0.05, titanium – the rest. At the same time, it has a uniform, finely dispersed

microstructure with a grain size of 0.5–5.0 microns, containing equiaxial α -phase in the amount of 40–80 % in the transformed β -matrix without continuous network α -phases at borders β grains. Ultrafrequency range of the waveguide is expanding to higher frequencies.

EFFECT: increases the safety of the ultrasonic waveguides and the quality of work performed by ultrasonic electrodes, which have an increased resource in the high-frequency range.

1 cl, 4 tbl

Изобретение относится к области ультразвуковых технологических систем различного назначения и может быть использовано для создания ультразвуковых электродов обладающих высоким ресурсом работы.

Область техники известна из технического решения содержащего волновод, выполненный в виде стержня цилиндрической формы из титанового сплава. (Патент RU 45325, заявка 2005100674 от 11.01.2003 г. МПК В24В 1/04). В данном техническом решении не указан состав сплава титана, из которого изготовлен волновод.

Известно техническое решение, в котором проведены исследования титанового сплава, для использования в качестве волноводов высокоамплитудных акустических систем. В данной работе исследовался промышленный сплав ПТ-3В (4,66 масс. % Al, 1,92 масс. % V) с исходной крупнозернистой структурой (200-400) мкм и ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой 0,37 мкм, полученной методом интенсивной пластической деформации - методом всестороннего прессования в интервале температур 1073-773 К. Данный сплав широко используется для изготовления акустических волноводов, ультразвуковых систем различного назначения. (Е.Н. Найденкин и др. «Титановый сплав ПТ-3В с ультрадисперсной структурой для волноводов высокоамплитудных акустических систем». Вопросы материаловедения, 2009 г. №4, стр 15-19). Выполнено сравнительное исследование структуры, механических и акустических свойств сплава ПТ-3В в крупнокристаллическом и ультрамелкозернистом состояниях. Методом всестороннего прессования в титановом сплаве ПТ-3В была сформирована однородная ультрамелкозернистая структура со средним размером элементов зеренно-субзеренной структуры 0,37 мкм. В результате существенно повысились механические свойства исследуемого материала. Так, микротвердость ультрамелкозернистого сплава увеличивается примерно на 25%, а разрушение волноводов из этого материала происходит при подводимой мощности ультразвука в 1,5-2 раза большей по сравнению с волноводом из крупнозернистого сплава. Значительно увеличивается ресурс работы при многоцикловой нагрузке таких волноводов в условиях повышенной плотности мощности ультразвуковой системы. Данное техническое решение принято в качестве прототипа.

Недостаток использования сплавов на основе титана ПТ-3В в качестве волновода заключается в недостаточном ресурсе работы в условиях повышенной частоты ультразвуковых колебаний (УЗК).

Задачей заявляемого решения является повышение безопасности работы ультразвуковых волноводов, повышение качества выполняемых работ ультразвуковыми электродами обладающими повышенным ресурсом работы в области высокого ультразвукового диапазона.

Технический результат, достигаемый в процессе решения поставленной задачи, заключается в расширении ультразвукового диапазона работы волновода в область более высоких частот.

Технический результат достигается сплавом на основе титана для ультразвуковых волноводов, содержащий алюминий, при этом дополнительно содержит молибден, цирконий, кремний, железо, кислород, углерод, водород и азот, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

Алюминий	5,8-8,0
Молибден	2,8-3,8
Цирконий	0,6-0,9
Кремний	0,20-0,40
Железо	≤0,3

Кислород	≤0,15
Углерод	≤0,1
Водород	≤0,015
Азот	≤0,05
Титан	остальное,

при этом он имеет равномерную, мелкодисперсную микроструктуру с размером зерна (0,5-5,0) мкм, содержащую равноосную α -фазу в количестве (40-80) % в трансформированной β -матрице без непрерывной сети α -фазы на границах β зерен. Кроме этого сплав имеет предел прочности на разрыв не менее 1200 МПа при соотношении параметров $\sigma_{0,2}/\sigma_B$, не менее 0,9, где $\sigma_{0,2}$ - предел текучести, МПа, σ_B - предел прочности, МПа.

Традиционно упрочнение титановых сплавов достигается их легированием, термомеханической обработкой, т.е. за счет управления химическим составом и фазово-структурными превращениями. Новым эффективным способом повышения физико-механических свойств промышленных металлов и сплавов является создание в них ультрамелкозернистых (УМЗ) структур с использованием методов интенсивной пластической деформации (ИПД), которые позволяют достигать очень больших пластических деформаций при относительно низких температурах (обычно 0,3...0,4 Тпл, К) в условиях высоких приложенных давлений. (Валиев Р.З, Александров И.В. Наноструктурные материалы, подвергнутые интенсивной пластической деформации. М.: Логос, 2000. - 272 с.). Проведенные исследования (Малыгин Г.А. Физика твердого тела. 6 (49), стр. 961-982, 2007 г.) показывают, что получение ультрамелкозернистой структуры со средним размером зерна менее 1 мкм в конструкционных сплавах позволяет, с одной стороны, значительно повысить их характеристики прочности, сопротивление усталости, износостойкость, с другой стороны, практическое применение таких материалов сдерживает рядом недостатков, к которым в первую очередь следует отнести пониженную термостабильность, ударную вязкость, циклическую трещиностойкость, повышенную чувствительность к концентраторам напряжений, а также порообразование при циклических нагрузках в зоне наибольших напряжений (приповерхностной зоне).

Расширение ультрачастотного диапазона работы волновода в область более высоких частот в предлагаемом сплаве для волноводов высокоамплитудных акустических систем достигается за счет создания разнотеленной структуры, имеющей повышенную сопротивляемость разрушению при циклических нагрузках изменяющихся с высокой частотой Сплав должен иметь не только УМЗ структуру, но данная структура должна максимально противостоять разрушению при воздействии на материал высокочастотных ультразвуковых колебаний.

При разработке структуры сплава авторами были использованы основные положения механики разрушения твердых тел. Рассматривался механизм разрушения применительно к титановому сплаву имеющего различную структуру подвергаемого циклическим напряжениям сжатия и растяжения с высокой частотой. Прежде всего, необходимо отметить, что ультразвуковые колебания в волноводе создают зоны сжатия и растяжения, величина данных зон напряжений в материале зависит от параметров УЗК, частоты и амплитуды. Процесс разрушения волновода из титанового сплава в результате действия ультразвуковых колебаний многостадийен. Он начинается в дефектных местах кристаллической решетки, где имеются нарушения ее периодичности, и проходит последовательно следующие стадии: скопление дефектов, приводящее к локальной концентрации напряжений; образование зародышевых микротрещин, т.е.

разрывов сплошностей кристаллической решетки в отдельных участках; развитие и объединение зародышевых микротрещин вплоть до образования магистральных трещин разрушения; разрушение волновода на несколько частей. Свойства структуры сплава должны быть такими, что бы максимально сопротивляться разрушения на каждой из

5 указанных стадий.

В прототипе исследовался сплав с исходной зернистостью 200-400 мкм и сплав с ультромелкозернистой структурой, полученной методом интенсивной пластической деформации - методом всестороннего прессования в интервале температур 1073-773 К, зернистостью 0,37 мкм.

10 Очевидно, что на стадии скопления дефектов, сплав с высокой зернистостью 200-400 мкм, имеющий больший размер кристаллитов, и больший размер границ между отдельными кристаллами будет противостоять УЗК лучше, чем сплав с УМЗ структурой имеющий значительно больше дефектов в структуре. Но стадия образования зародышевых микротрещин, т.е. разрывов сплошностей кристаллической решетки в

15 отдельных участках, в сплаве с УМЗ структурой от действия ультразвуковых колебаний будет проходить значительно дольше, чем в сплавах имеющих большой размер зерна. Практически данная стадия и определяет работоспособность волновода. Это обусловлено способностью УМЗ структуры противостоять напряжениям, возникающим в материале при УЗК, микрообъемы которого периодически сжимаются и растягиваются.

20 Чтобы получить разрыв сплошностей в крупнозернистом сплаве, размером 400 мкм, достаточно транскристаллитного разрушения одного крупного зерна, или интеркристаллитного разрушения границ двух зерен, тогда как в сплаве с УМЗ структурой для этого микроразрыву потребуется пройти 1000 зерен и межзеренных границ. Следовательно, и энергии на получение такого разрыва сплошностей

25 потребуется в 1000 раз больше. Размеры разрывов сплошностей в крупнозернистом сплаве будут на два-три порядка больше, чем в сплаве с УМЗ структурой, а, следовательно, их подрастание до микротрещин и выход на поверхность будет происходить быстрее.

Иной характер разрушения титанового сплава происходит в сплаве имеющем

30 равномерную, мелкодисперсную микроструктуру с размером зерна (0,5-5,0) мкм, содержащую равноосную α -фазу в количестве (40-80)% в трансформированной β -матрице без наличия непрерывной сети α -фазы на границах β зерен.

На стадии скопления дефектов, в которой происходит увеличение локальной концентрации напряжений, сплав с разнотерной структурой имеющий в структуре

35 субмелкие и мелкие зерна будет противостоять значительно дольше, чем сплав, имеющий УМЗ структуру. Это объясняется тем, что структура сплава имеет меньшую дефектность. На второй стадии разрушения, зародившиеся микроразрывы на субмелких зернах, при своем подрастании будут тормозиться на мелких зернах, в то время как на сплавах с УМЗ период торможения будет значительно меньше, так как зародившийся микроразрыв

40 соизмерим с размером соседнего зерна. Наличие в структуре зерен с различным размером из различных фаз, имеющих различные параметры кристаллических решеток, будут создавать в сплаве границы зерен с различной степенью напряженности, что создаст дополнительное препятствие при развитии микротрещин. Таким образом, разнотерная структура сплава имеет большую способность сопротивляться

45 разрушению на каждой указанной ранее стадии механизма разрушения.

Сплав имеет повышенную ударную вязкость и циклическую трещиностойкость, пониженную чувствительность к концентраторам напряжений, а также пониженное порообразование при циклических нагрузках в зоне наибольших напряжений. Такие

свойства достигаются увеличением процентного содержания алюминия, а также замена ванадия молибденом, получением оптимального сочетания α и β стабилизирующих элементов в сплаве. Это позволяет увеличить прочность материала на 20% по сравнению с промышленным сплавом ПТ-3В, а также улучшить усталостные свойства. Увеличение прочности и улучшение усталостных свойств приводит к тому, что волновод может работать большее время и при более высоких нагрузках. С целью увеличения и стабилизации альфа-фазы, в сплав было добавлено относительно высокое количество алюминия, и 0,6-0,9% циркония. За счет добавления циркония происходит стабилизация альфа-фазы, что в свою очередь увеличивает прочность сплава и его сопротивление ползучести, что в конечном итоге приводит к увеличению срока службы волновода. Дополнительно цирконий улучшает коррозионную стойкость материала. Оптимальное содержание альфа- и бета-фазы также дает лучший контроль микроструктуры в процессе термомеханической обработки сплава, что позволяет получать сплавы для изготовления волноводов работающих на высоких частотах. Наличие однородной микроструктуры необходимо для получения равномерных акустических свойств по всему объему материала, что является одним из важнейших условий для производства волноводов. Сравнительные испытания.

Был подготовлен образец ступенчатого волновода из заявляемого сплава с выходным диаметром 8 мм (по аналогии с прототипом). Параметры состава титанового сплава представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Элемент	Al	V	Mo	Zr	Si	Fe	O	C	H	N
Сплав ПТ-3В	3,5-5,0	1,2-2,5		$\leq 0,3$	$\leq 0,12$	$\leq 0,25$	$\leq 0,15$	$\leq 0,1$	$\leq 0,006$	$\leq 0,04$
Предлагаемый сплав	6,9		3,3	0,7	0,3	0,1	0,09	0,05	0,01	0,04

Были проведены испытания по определению предельного времени работы волновода до разрушения при тех же параметрах, что и в прототипе: частота 21 кГц, мощность 600 Вт. Колебания в образце возбуждались с помощью ультразвуковых преобразователей. Образец из предлагаемого сплава не разрушился в течении 4 часов испытаний. Прототип при тех же условиях проработал всего лишь 1320 секунд (Е.Н. Найденкин и др. «Титановый сплав ПТ-3В с ультрадисперсной структурой для волноводов высокоамплитудных акустических систем». Вопросы материаловедения, 2009 г. №4, стр 15-19). Данные испытания показывают, что предлагаемый сплав имеет значительно больший ресурс работы по сравнению с прототипом.

Далее было подготовлено 5 заготовок с составом представленным в таблице 2.

Таблица 2

Состав	Al	Mo	Zr	Si	Fe	O	C	H	N	Титан
1	5,4	2,5	0,4	0,1	0,1	0,06	0,03	0,005	0,02	остальное
2	5,8	2,8	0,6	0,2	0,1	0,06	0,03	0,005	0,02	остальное
3	6,9	3,3	0,7	0,3	0,2	0,1	0,06	0,01	0,035	остальное
4	8,0	3,8	0,9	0,4	0,3	0,15	0,1	0,014	0,05	остальное
5	8,3	4,1	1,2	0,5	0,4	0,17	0,12	0,017	0,08	остальное

В последствии каждая заготовка подвергалась ковке включающем этапыковки при температуре выше температуры полного полиморфного превращения, и при температуре ниже полиморфного превращения, охлаждение заготовки после этапаковки, при этом на первом этапе нагревают заготовку из титанового сплава до температуры выше температуры полного полиморфного превращения $T_1 = T_{\beta} + (40 \div 130)^{\circ}\text{C}$, где T_{β} - температура фазового альфа-бета перехода, проводят ковку с деформацией при вращении заготовки вокруг своей оси последовательно по схеме $90^{\circ}-45^{\circ}-22^{\circ}$, проводят закалку заготовки в воду, на втором этапе нагревают заготовку из титанового сплава до температуры ниже полиморфного превращения $T_2 = T_{\beta} - (0 \div 60)^{\circ}\text{C}$, проводят ковку с деформацией при вращении заготовки вокруг своей оси последовательно по схеме $90^{\circ}-45^{\circ}-22^{\circ}$, проводят быстрое охлаждение заготовки в воду, на третьем этапе нагревают заготовку из титанового сплава до температуры $T_1 = T_{\beta} + (40 \div 130)^{\circ}\text{C}$, проводят ковку с деформацией при вращении заготовки вокруг своей оси последовательно по схеме $90^{\circ}-45^{\circ}-22^{\circ}$, проводят закалку заготовки в воду, после третьего этапаковки проводят разделение заготовки на две равные части по длине, на четвертом этапе проводят нагрев заготовки до температуры $T_2 = T_{\beta} - (0 \div 60)^{\circ}\text{C}$, проводят ковку с деформацией, при повороте заготовки вокруг своей оси каждый раз на 90° и чередуя усилияковки при каждом повороте, большие усилия на большей площади, меньшие усилия на меньшей площади, формируя из круглой заготовки прямоугольную заготовку, на пятом, на шестом, на седьмом, восьмом и девятом этапах нагревают заготовки до температуры $T_2 = T_{\beta} - (0 \div 60)^{\circ}\text{C}$, проводят ковку с деформацией при повороте заготовки вокруг своей оси каждый раз на 90° и чередуя усилияковки при каждом повороте, большие усилия на большей площади, меньшие усилия на меньшей площади, полученный прямоугольный пруток подвергают отжигу при температуре 850°C в течении часа. Все заготовки обрабатывались по единому процессу. Были определены физико-механические свойства. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Свойства	Размер зерна, мкм	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
Исходное состояние (по сертификату)	100-200	940	840	15	48
Состав 1	5-8	1159	1008	12	45
Состав 2	0,7-4,8	1218	1109	16	57
Состав 3	0,6-4,5	1247	1159	18	61
Состав 4	0,8-4,7	1228	1131	14	54
Состав 5	6-8	1167	993	13	47

Были изготовлены волноводы и проводились испытания в производственных условиях на ультразвуковом сварочном аппарате USP750. Использовались следующие режимы: сила прижатия 750 Н, частота 35 kHz, мощность 1 кВт. Таким образом был определен оптимальный состав титанового сплава для волноводов. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

Таблица 4

Вариант	Частота, кГц	Мощность, кВт	Время работы, месяц	Причина выхода из работы
1	35	1	5	Усталостная поперечная трещина
2	35	1	> 9	не разрушился
3	35	1	> 9	не разрушился
4	35	1	> 9	не разрушился
5	35	1	4	Усталостная поперечная трещина

Сваривали пластмассу, материал отлично сваривается. После 9 месяцев работы сварочного оборудования, провели ультразвуковой контроль волновода по стандарту AMS 2631 класс AA. Дефекты не обнаружены, что подтверждает высокий ресурс работы волновода. Предлагаемый титановый сплав химического состава при сохранении мелкодисперсной микроструктуры позволяет значительно увеличить ресурс работы волновода.

(57) Формула изобретения

1. Сплав на основе титана для ультразвуковых волноводов, содержащий алюминий, отличающийся тем, что он дополнительно содержит молибден, цирконий, кремний, железо, кислород, углерод, водород и азот, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

Алюминий	5,8-8,0
Молибден	2,8-3,8
Цирконий	0,6-0,9
Кремний	0,20-0,40
Железо	≤0,3
Кислород	≤0,15
Углерод	≤0,1
Водород	≤0,015
Азот	≤0,05
Титан	остальное,

при этом он имеет равномерную, мелкодисперсную микроструктуру с размером зерна 0,5-5,0 мкм, содержащую равноосную α -фазу в количестве 40-80% в трансформированной β -матрице без непрерывной сети α -фазы на границах β зерен.

2. Сплав по п. 1, отличающийся тем, что он имеет предел прочности на разрыв не менее 1200 МПа и соотношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ не менее 0,9, где $\sigma_{0,2}$ - предел текучести, МПа, σ_B - предел прочности, МПа.