



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C22C 32/0073 (2024.01); C22C 14/00 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023123069, 05.09.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
05.09.2023Дата регистрации:  
06.03.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.09.2023

(45) Опубликовано: 06.03.2024 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, НИУ  
"БелГУ", Токтарева Татьяна Михайловна

(72) Автор(ы):

Озеров Максим Сергеевич (RU),  
Соколовский Виталий Сергеевич (RU),  
Астахов Илья Иванович (RU),  
Степанов Никита Дмитриевич (RU),  
Жеребцов Сергей Валерьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

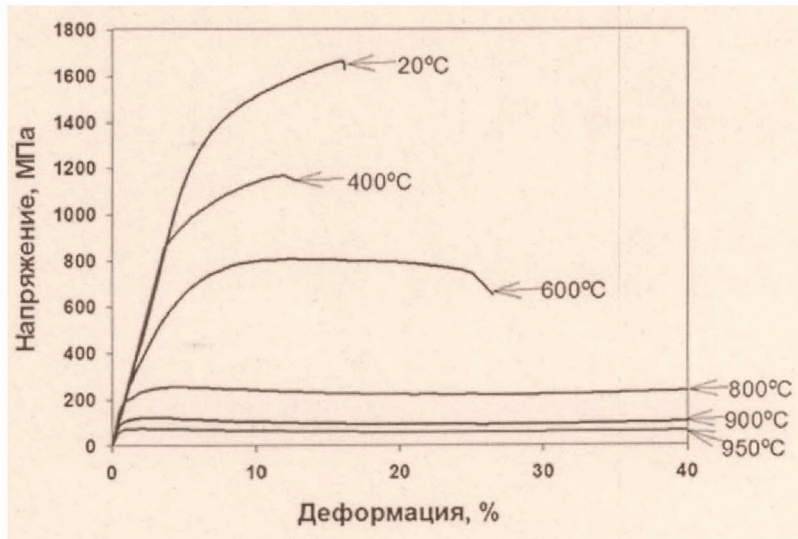
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: WANG Shuai et al., High temperature  
performance of TiB/(Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V-0.5Si)  
composites affected by the TiB architecture.  
Composites Part A: Applied Science and  
Manufacturing Volume 174, 09.08.2023, 107735.  
RU 2793620 C1, 04.04.2023. RU 2492256 C9,  
10.12.2013. CN 102925737 B, 26.11.2014. CN  
101333607 B, 23.06.2010. CN 109338159 B, (см.  
прод.)

(54) Металломатричный композит на основе жаропрочного титанового сплава

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, а именно к металломатричному композиту на основе жаропрочного титанового сплава, и может быть использовано в авиации при изготовлении деталей авиационных двигателей. Металломатричный композит Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB<sub>2</sub> содержит матрицу из жаропрочного титанового сплава, ат. %: титан 89,5, алюминий 6,5, цирконий 2,0, молибден 1,0, ванадий 1,0, и

армирующий компонент TiB<sub>2</sub> в количестве 2-3 вес.%, при этом композит получен путем вакуумно-дугового переплава титана, алюминия, циркония, молибдена, ванадия с добавлением порошка TiB<sub>2</sub> со средним размером частиц 4 мкм. Материал характеризуется высокими показателями прочности и пластичности при комнатной и повышенных температурах. 2 ил., 2 табл., 2 пр.



Фиг. 2

(56) (продолжение):  
02.10.2020. WO 1998024575 A1, 11.06.1998.

RU 2 8 1 4 9 2 4 C 1

RU 2 8 1 4 9 2 4 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C22C 32/00* (2006.01)  
*C22C 14/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C22C 32/0073* (2024.01); *C22C 14/00* (2024.01)

(21)(22) Application: **2023123069, 05.09.2023**

(24) Effective date for property rights:  
**05.09.2023**

Registration date:  
**06.03.2024**

Priority:  
(22) Date of filing: **05.09.2023**

(45) Date of publication: **06.03.2024** Bull. № 7

Mail address:  
**308015, g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, NIU "BelGU",  
Toktareva Tatyana Mikhailovna**

(72) Inventor(s):  
**Ozerov Maksim Sergeevich (RU),  
Sokolovskii Vitalii Sergeevich (RU),  
Astakhov Iliia Ivanovich (RU),  
Stepanov Nikita Dmitrievich (RU),  
Zherebtsov Sergei Valerevich (RU)**

(73) Proprietor(s):  
**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia "Belgorodskii gosudarstvennyi  
natsionalnyi issledovatel'skii universitet" (NIU  
"BelGU") (RU)**

(54) **METAL MATRIX COMPOSITE BASED ON HEAT-RESISTANT TITANIUM ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, namely to metal-matrix composite based on heat-resistant titanium alloy, and can be used in aircraft engineering when making parts of aircraft engines. Metal matrix composite Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB<sub>2</sub> contains a matrix of heat-resistant titanium alloy, at.%: titanium 89.5, aluminium 6.5, zirconium 2.0, molybdenum 1.0, vanadium 1.0, and reinforcing

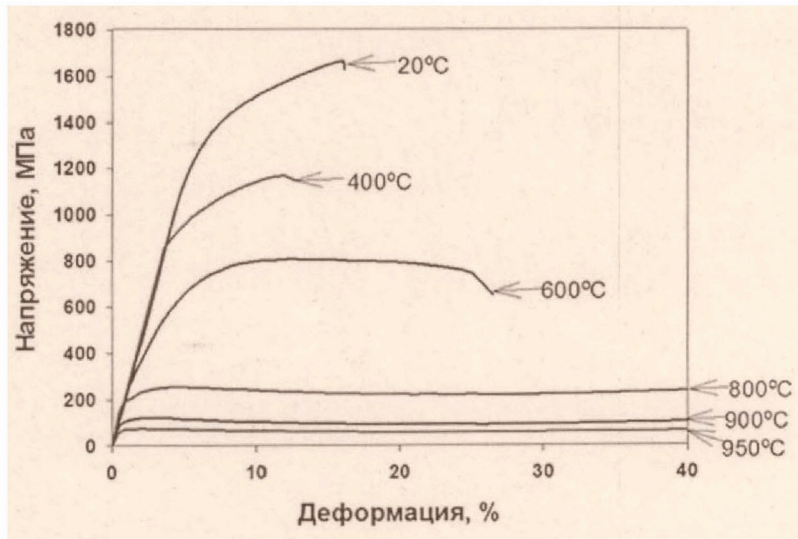
component TiB<sub>2</sub> in amount of 2–3 wt.%, wherein the composite is obtained by vacuum-arc remelting of titanium, aluminium, zirconium, molybdenum, vanadium with addition of TiB<sub>2</sub> powder with average particle size of 4 μm.

EFFECT: material is characterized by high strength and plasticity at room and high temperatures.

1 cl, 2 dwg, 2 tbl, 2 ex

RU 2 814 924 C1

RU 2 814 924 C1



Фиг. 2

RU 2814924 C1

RU 2814924 C1

Изобретение относится к области металлургии, в частности к получению композиционных материалов с металлической матрицей, армированными высокопрочными соединениями диборида титана. Предполагается, что такие композиты найдут применение в авиации при изготовлении деталей авиационных двигателей за счет хорошего сочетания прочности при комнатной и повышенной температурах, пластичности и жаростойкости.

Титановые сплавы занимают особое место в авиации и кораблестроении, благодаря высоким значениям удельной прочности, технологической пластичности и коррозионной стойкости. Титановые сплавы могут также использоваться при повышенных температурах, например в компрессорах турбин авиационных двигателей, однако максимальная температура их эксплуатации не превышает 550-600 °С из-за заметного падения прочности при этих температурах [Ильченко В.М., Шарин Р.Е. Титановые сплавы для авиационных газотурбинных двигателей. Титан. (ВИЛС). М.: ВИЛС, 1995. № 1-2 (5-6). С. 25]. Поэтому вопрос повышения высокотемпературной (главным образом до ~ 600 °С) прочности титановых сплавов является актуальным, поскольку это позволило бы значительно расширить область применения этих материалов, частично заместив более тяжелые стали и никелевые сплавы.

Согласно известным представлениям о возможности создания сплавов с повышенной жаропрочностью, в альфа и псевдо-альфа титановых сплавах, помимо твердорастворного упрочнения, может быть реализован перспективный подход, заключающийся в создании композитов посредством введения упрочняющих жаропрочных фаз в пластичную металлическую матрицу. Наилучшим выбором представляется использование в качестве упрочнителя частиц TiB, которые хорошо сопрягаются с титановой матрицей без формирования переходной области и имеют близкий коэффициент термического расширения, а также обладают хорошей термической стабильностью. Ранее выполненные исследования показали положительный эффект упрочняющих частиц борида на высокотемпературные свойства литых титановых сплавов с однофазной альфа структурой [L.J. Huang, L. Geng, H.X. Peng, B. Kaveendran. High temperature tensile properties of in situ TiBw/Ti6Al4V composites with a novel network reinforcement architecture, Materials Science and Engineering A 534 (2012) 688-692]. Поскольку при кристаллизации борида обычно образуют довольно крупные игольчатые выделения, которые могут приводить к снижению пластичности и трещиностойкости, были также выполнены исследования влияния деформационной обработки на жаропрочность. Полученные результаты однозначно свидетельствуют, что свойства металл-матричных композитов во многом определяются морфологией упрочнителей и их распределением в матрице.

На данный момент известны способы получения композиционных материалов с металлической матрицей, а также известно несколько вариаций композиционных материалов, наиболее близких по химическому составу к заявленному композиту.

Известен способ изготовления композиционного материала с металлической матрицей и наноразмерными упрочняющими частицами [Патент РФ № RU 2574534 C2 от 17.06.2014 «Композиционный материал с металлической матрицей и наноразмерными упрочняющими частицами и способ его изготовления»]. Задачей приведенного технического решения является повышение прочностных свойств композиционного материала при минимизации объемной доли упрочняющих частиц. В композиционном материале с металлической матрицей и наноразмерными упрочняющими частицами в агломерированном состоянии, изготовленном с расплавлением матрицы, содержание наноразмерных упрочняющих частиц в агломерированном состоянии не превышает

5% объемных от всего объема наночастиц, а остальные наноразмерные упрочняющие частицы находятся в неагломерированном состоянии. В данном способе в качестве матрицы выступает алюминий или медь, в качестве упрочнителя - частицы алмаза или карбида кремния. Для выполнения поставленной задачи в данном способе осуществляли  
 5 подготовку композиционных гранул методом механического легирования исходных смесей металлических частиц и упрочняющих наночастиц, далее нагревали гранулы до полного или частичного расплавления и формовали или деформировали изделия в жидком или полужидком состоянии. Согласно изобретению, подготовленные композиционные гранулы вносят в расплав материала матрицы или ее компонента и  
 10 перемешивают, при этом температуру расплава поддерживают в интервале температур 1,01-1,3 от температуры плавления материала расплава. Недостаток данного технического решения в том, что не указаны сведения, подтверждающие повышение прочностных свойств полученных композитов.

Композиты Ti6Al4V (TiBw/Ti64), армированные нитевидными кристаллами TiB, с  
 15 новой архитектурой сетчатого армирования были разработаны [L.J. Huang, L. Geng, H.X. Peng, B. Kaveendran. High temperature tensile properties of in situ TiBw/Ti6Al4V composites with a novel network reinforcement architecture, Materials Science and Engineering A 534 (2012) 688-692]. Показано, что при 500 °C прочность на разрыв спеченных композитов TiBw/Ti64 с содержанием 5 об.%, 8,5 об.% и 12 об.% увеличилась на 36,9%, 40,5% и 44,8% по  
 20 сравнению с прочностью монолитного сплава Ti64. При этом удлинение при растяжении составляет около 10% при 500 °C и 20% при 700 °C. Максимальная температура эксплуатации композитов TiBw/Ti64 может быть увеличена до 600 °C при сохранении прочности монолитного сплава Ti64 на уровне 400 °C. Это связано с механизмом усиления границ сети, что выясняется с помощью фрактографического анализа свойств  
 25 микроструктуры.

В работе [Shuai Wang, JiaYi Jin, WenQi Liu, Qi An, Rui Zhang, LuJun Huang, Jian Xiong, Lin Geng. High temperature performance of TiB/(Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V-0.5Si) composites affected by the TiB architecture, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing Volume 174, November 2023, 107735] в качестве монолитного матричного сплава был выбран  
 30 широко используемый жаропрочный титановый сплав Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V (TA15). Данный источник выбран за прототип. Были разработаны три типа композитов Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V-0,5Si (TA15+Si) с TiB, TA15+TiB+Si с TiB с и TiB/(TA15+TiB+Si) с TiB (TA15 - англоязычная аббревиатура сплава Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V). В настоящем исследовании использовались волокна TiB как лучшее керамическое армирование в  
 35 ММК, а распределение и объемная доля TiB регулировались. Кроме того, Si также использовался для улучшения характеристик при высоких температурах. Для индивидуального распределения TiB использовались сферические порошки TA 15 и предварительно легированные порошки TA 15+TiB (с различной объемной долей TiB). Сырьем армирования служили частицы TiB<sub>2</sub> и частицы Si. Предварительно легированные  
 40 порошки TA15+TiB были получены методом плазменного вращающегося электрода. Были приготовлены порошки с различной объемной долей TiB - композиционные порошки TA15+1 об.%TiB и TA15+2 об.%TiB. Недостатком данного способа являются недостаточно высокие прочностные свойства при комнатной температуре - значение предела текучести не превышает 1000 МПа, а также недостаточно высокие прочностные  
 45 свойства при повышенных температурах для всех вариаций композитов

#### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Задачей изобретения является получение металлматричного композита на основе жаропрочного титанового сплава состава Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V, упрочненного частицами

диборида титана ( $TiB_2$ ), с высокими показателями прочности и пластичности при комнатной и повышенных температурах. Технический результат изобретения заключается в получении композита  $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB_2$  с высокими показателями предела текучести 1020-1100 МПа и пластичностью 10-16% при комнатной температуре в зависимости от содержания армирующего компонента  $TiB_2$  в интервале 2-3 вес.%, а также высокими значениями предела текучести композитов при повышенных температурах.

Задача изобретения решается предложенным металлматричным композитом  $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB_2$ , содержащим матрицу из жаропрочного титанового сплава  $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V$ , и армирующий компонент  $TiB_2$ , полученным путем вакуумно-дугового переплава титана, алюминия, циркония, молибдена, ванадия с добавлением  $TiB_2$  со средним размером частиц 4 мкм, при этом матричный сплав содержит, ат. %: титана 89,5, алюминия 6,5, циркония 2,0, молибдена 1,0, ванадия 1,0, а металлматричный композит содержит 2-3 масс. %  $TiB_2$ .

Отличительной особенностью предложенного композита является его химический состав, который не имеет аналогов. Пластичная матрица с высокими прочностными характеристиками на основе сплава  $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V$  из высокочистых элементов обеспечивает высокий баланс свойств. Неожиданно было установлено, что введение в состав матрицы высокотвердого армирующего компонента  $TiB_2$  в количестве 2-3 вес.% от массы матрицы значительно повышает прочностные свойства композита при комнатной и повышенных температурах. Новизна и изобретательский уровень предложенного изобретения заключается в легировании уже известной матрицы  $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V$  армирующим компонентом  $TiB_2$  в количестве 2-3 вес.%. Чистота элементов, используемых при получении заявленного композита  $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB_2$ , приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Чистота элементов, используемых при получении заявленного композита  $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB_2$ .

Химический элемент/соединение	Чистота, %
Ti	99,95
Al	99,95
Zr	99,95
Mo	99,95
V	99,95
$TiB_2$	99,999

Изобретение иллюстрируется следующими материалами:

Фиг. 1 - Изображение микроструктуры композита  $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB_2$  с добавлением  $TiB_2$  в количестве 3 вес.%, (а) - сканирующая электронная микроскопия, полированная поверхность, (б) - сканирующая электронная микроскопия, травленая поверхность

Фиг. 2 - Кривые напряжение-деформация, полученные при испытаниях композита  $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB_2$  с добавлением  $TiB_2$  в количестве 3 вес.% на сжатие при комнатной и повышенных температурах.

## ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В качестве исходных материалов использовали высокочистые элементы в следующем процентном отношении, ат. %: титана 89,5, алюминия 6,5, циркония 2, молибдена 1, ванадия 1 (таблица 1). Армирующий компонент диборид титана высокой чистоты со средним размером частиц 4 мкм добавляли в уже готовый сплав Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V в виде порошка в количестве 2-3 вес. % от массы сплава. Далее проводили процесс вакуумнодугового переплава с использованием установки Buehler Arc Melter 200 при рабочей температуре 3500°C в течение 60 минут для получения литого металломатричного композита Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB<sub>2</sub>. Полученные слитки переплавляли 5 раз для получения однородного распределения химических элементов по объему заготовки. В итоге слитки имели массу 50 г, пор или каких-либо других дефектов в структуре слитков на макроуровне обнаружено не было.

Механические испытания на сжатие при комнатной и повышенных температурах полученных композитов проводили с использованием напольной сервогидравлической испытательной машины Instron 5882. Исследования микроструктуры сплавов проводили с использованием растрового (сканирующего) электронного микроскопа FEI Quanta 600 FEG.

Возможность осуществления изобретения поясняется примерами процесса получения композитов с высокими значениями прочности при комнатной и повышенных температурах.

## Пример 1.

Для проведения исследований используют чистые элементы в следующем процентном отношении, ат. %: титан 89,5, алюминий 6,5, цирконий 2,0, молибден 1,0, ванадий 1,0 и дополнительно к готовому сплаву добавляют порошок диборида титана со средним размером частиц 4 мкм в количестве 2 вес. % от массы сплава. Далее проводят процесс вакуумнодугового переплава на установке Buehler Arc Melter 200 в среде чистого аргона при рабочей температуре 3500°C в течение 60 минут.

Значение предела текучести полученного композита Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB<sub>2</sub> при комнатной температуре составляет 1020 МПа, пластичность 16%. Значения предела текучести при повышенных температурах деформации составили: 700 МПа для 400°C, 570 МПа для 600°C, 230 МПа для 800°C, 82 МПа для 900°C, 60 МПа для 950°C и представлены в таблице 2.

## Пример 2.

Для проведения исследований используют чистые элементы в следующем процентном отношении, ат. %: титан 89,5, алюминий 6,5, цирконий 2,0, молибден 1,0, ванадий 1,0 и дополнительно к готовому сплаву добавляют порошок диборида титана со средним размером частиц 4 мкм в количестве 3 вес. %. Далее проводят процесс вакуумно-дугового переплава на установке Buehler Arc Melter 200 в среде чистого аргона при рабочей температуре 3500°C в течение 60 минут.

Значение предела текучести полученного композита Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB<sub>2</sub> при комнатной температуре составляет 1100 МПа, пластичность 10%. Значения предела текучести при повышенных температурах деформации составили: 750 МПа для 400°C, 620 МПа для 600°C, 250 МПа для 800°C, 110 МПа для 900°C, 70 МПа для 950°C и представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Значения предела текучести для композитов при повышенных температурах.

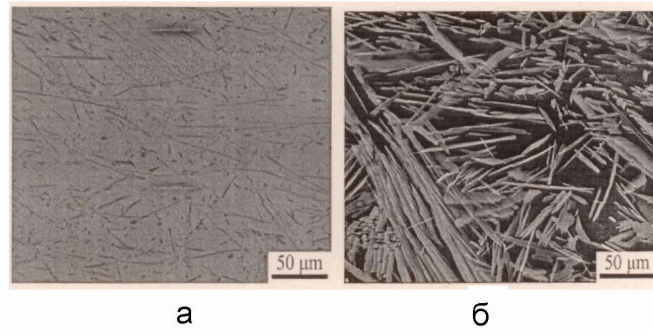


Предел текучести МПа, композит Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V / 2 % TiB <sub>2</sub>	Предел текучести МПа, композит Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V / 3 % TiB <sub>2</sub>	Температура деформации, °C
700	750	400
570	620	600
230	250	800
82	110	900
60	70	950

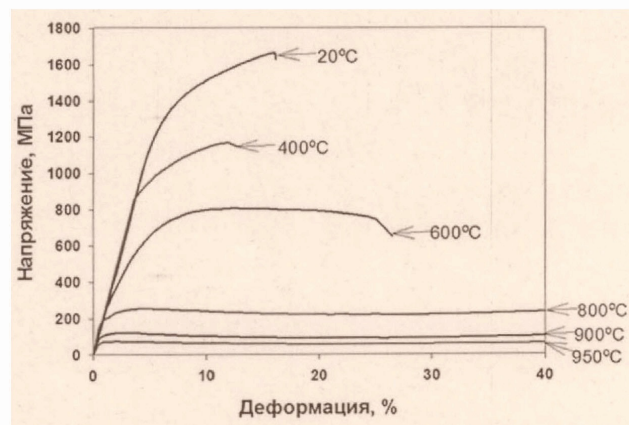
Таким образом, поставленная задача достигнута. Полученный металломатричный композит Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB<sub>2</sub> имеет высокие показатели прочности и пластичности при комнатной и повышенных температурах.

(57) Формула изобретения

Металломатричный композит Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB<sub>2</sub>, содержащий матрицу из жаропрочного титанового сплава, ат. %: титан 89,5, алюминий 6,5, цирконий 2,0, молибден 1,0, ванадий 1,0, и армирующий компонент TiB<sub>2</sub> в количестве 2-3 вес. %, при этом композит получен путем вакуумно-дугового переплава титана, алюминия, циркония, молибдена, ванадия с добавлением порошка TiB<sub>2</sub> со средним размером частиц 4 мкм.



Фиг. 1



Фиг. 2