



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C22C 30/00 (2022.08); C22C 1/10 (2022.08); C22C 32/0073 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022118797, 11.07.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
11.07.2022Дата регистрации:  
04.04.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.07.2022

(45) Опубликовано: 04.04.2023 Бюл. № 10

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.  
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Токтаревой  
Т.М.

(72) Автор(ы):

Озеров Максим Сергеевич (RU),  
Соколовский Виталий Сергеевич (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: US 20170314097 A1, 02.11.2017.  
Stepanov N. et al., Gum-like mechanical behavior  
of a partially ordered Al<sub>5</sub>Nb<sub>24</sub>Ti<sub>40</sub>V<sub>5</sub>Zr<sub>26</sub> high  
entropy alloy, Journal article, 28.01.2020,  
intermetallics, т. 116, номер публикации 106652.  
US 6599466 B1, 29.07.2013. US 4726842 A1,  
23.02.1988. US5093148 A1, 03.03.1992.(54) **Металломатричный композит на основе высокоэнтропийного сплава**

(57) Реферат:

Изобретение относится к металломатричным композитам на основе высокоэнтропийного сплава и может быть использовано для конструктивных применений в авиастроении и энергетическом машиностроении, в том числе при высоких температурах. Металломатричный композит  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}/TiB_2$ , полученный путем вакуумно-дугового переплава в среде чистого аргона алюминия, ниобия, титана, ванадия, циркония с добавлением  $TiB_2$  со средним размером частиц 4 мкм, содержит матрицу из

высокоэнтропийного сплава  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}$  и армирующий компонент  $TiB_2$ , при этом матричный сплав содержит: 5 ат.% алюминия, 24 ат.% ниобия, 40 ат.% титана, 5 ат.% ванадия и 26 ат.% циркония, а металломатричный композит содержит 1 мас.%  $TiB_2$ . Изобретение направлено на получение металломатричного композита с высоким пределом прочности, пределом текучести и пластичности на растяжение при комнатной температуре. 2 ил., 1 табл., 2 пр.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*C22C 30/00 (2022.08); C22C 1/10 (2022.08); C22C 32/0073 (2022.08)*(21)(22) Application: **2022118797, 11.07.2022**(24) Effective date for property rights:  
**11.07.2022**Registration date:  
**04.04.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **11.07.2022**(45) Date of publication: **04.04.2023** Bull. № 10

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul.  
Pobedy, 85, NIU "BelGU", OIS, Toktarevoj T.M.**

(72) Inventor(s):

**Ozerov Maksim Sergeevich (RU),  
Sokolovskij Vitalij Sergeevich (RU),  
Stepanov Nikita Dmitrievich (RU),  
Zherebtsov Sergej Valerevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj  
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU  
"BelGU") (RU)****(54) METAL-MATRIX COMPOSITE BASED ON HIGH-ENTROPY ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: metal-matrix composites based on a high-entropy alloy. Invention can be used for structural applications in aircraft and power engineering, including at high temperatures. Metal-matrix composite  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}/TiB_2$  obtained by vacuum-arc remelting in pure argon of aluminium, niobium, titanium, vanadium, zirconium with the addition of  $TiB_2$  with an average particle size of 4  $\mu m$ , contains a matrix of high-entropy alloy  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}$  and

a reinforcing component  $TiB_2$ , while the matrix alloy contains: 5 at.% of aluminium, 24 at.% of niobium, 40 at.% of titanium, 5 at.% of vanadium and 26 at.% of zirconium, and the metal matrix composite contains 1% by weight of  $TiB_2$ .

EFFECT: invention is aimed at obtaining a metal-matrix composite with high tensile strength, yield strength and tensile plasticity at room temperature.

1 cl, 2 dwg, 1 tbl, 2 ex

Настоящее изобретение относится к области металлургии, в частности к получению композиционных материалов с металлической высокоэнтропийной матрицей, упрочненных частицами боридов титана. Данное изобретение может быть использовано для конструктивных применений в авиастроении и энергетическом машиностроении, в том числе и при высоких температурах.

Основные проблемы применения современных жаропрочных материалов связаны с необходимостью повышения рабочих температур деталей авиационных и ракетных двигателей выше 600-700°C при одновременном снижении их веса. В настоящее время в авиационном и ракетном двигателестроении наиболее широко применяются интерметаллидные сплавы на основе алюминидов титана и никеля. Повышение жаропрочности таких сплавов возможно путем их легирования тугоплавкими элементами. Однако такое легирование приводит к повышению плотности сплавов и снижению их пластичности. Перспективной альтернативой интерметаллидным сплавам являются активно исследуемые в последнее десятилетие так называемые высокоэнтропийные сплавы. Данные сплавы состоят из четырех, пяти и более химических элементов, находящихся в равных или практически равных концентрациях. При этом существующие экспериментальные данные показывают, что высокоэнтропийные сплавы могут обладать высокими эксплуатационными характеристиками, необходимыми для авиационной и ракетной отраслей промышленности.

На данный момент известно несколько вариаций высокоэнтропийных сплавов, наиболее близких по химическому составу к заявленному композиту.

Известен сплав AlNbTiV (Stepanov N.D., Yurchenko N.Yu., Skibin D.V., Tikhonovsky, M.A., Salishchev G.A. Structure and mechanical properties of the AlCr<sub>x</sub>NbTiV (x= 0, 0.5, 1, 1.5) high entropy alloys // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – V.652. – Pp. 266-280). Данный сплав содержит 27,6 ат.% алюминия, 24,1 ат.% ниобия, 24,8 ат.% титана, 23,5 ат.% ванадия. Сплав обладает низкой плотностью около 5,6 г/см<sup>3</sup> и достаточной низкотемпературной пластичностью 5,2%. Основным недостатком данного сплава является недостаточно высокий удельный предел текучести при высокой температуре: 100 кПа·м<sup>3</sup>/кг при T=800°C.

Известен высокоэнтропийный сплав AlNbTiVZr0.5 (Stepanov N.D., Yurchenko N.Yu., Sokolovsky V.S., Tikhonovsky M.A., Salishchev G.A. An AlNbTiVZr0.5 high-entropy alloy combining high specific strength and good ductility // Materials letters - 2015. – V.161. – Pp. 136-139). Данный сплав содержит 23,4 ат.% алюминия, 20,9 ат.% ниобия, 22,8 ат.% титана, 21,7 ат.% ванадия и 11,2 ат.% циркония. Сплав обладает низкой плотностью порядка 5,64 г/см<sup>3</sup>, высокой низкотемпературной пластичностью до 50%, и более высоким удельным пределом текучести при высокой температуре около 120 кПа·м<sup>3</sup>/кг при T = 800°C. Основными недостатками данного сплава является избыточное содержание циркония в количестве 11,2 ат.%, что повышает его удельный вес и приводит к повышению стоимости сплава, а также низкая величина удельного предела текучести - не более 120 кПа·м<sup>3</sup>/кг при T = 800°C.

За прототип был выбран высокоэнтропийный сплав Al<sub>5</sub>Nb<sub>24</sub>Ti<sub>40</sub>V<sub>5</sub>Zr<sub>26</sub> (S. Zherebtsov, N. Yurchenko, E. Panina, M. Tikhonovsky, N. Stepanov. Gum-like mechanical behavior of a partially ordered Al<sub>5</sub>Nb<sub>24</sub>Ti<sub>40</sub>V<sub>5</sub>Zr<sub>26</sub> high entropy alloy, Intermetallics 116 (2020) 106652). Данный сплав содержит 5 ат.% алюминия, 24 ат.% ниобия, 40 ат.% титана, 5 ат.% ванадия и 26 ат.% циркония. Основным недостатком данного сплава является недостаточно высокий удельный предел прочности на растяжение при комнатной

температуре, равный 800 МПа.

### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Задачей изобретения является получение металломатричного композита на основе высокоэнтропийного сплава  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}$  с высокими показателями прочности, а также приемлемыми значениями пластичности при комнатной температуре, позволяющими изготавливать детали для применения в авиационной промышленности.

Технический результат изобретения заключается в получении металломатричного композита  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}/TiB_2$  с высокими показателями предела прочности 900 МПа, предела текучести – 840 МПа и пластичностью на растяжение 6 % при комнатной температуре, за счет упрочнения диборидом титана.

Задача изобретения решается предложенным металломатричным композитом  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}/TiB_2$ , полученным путем вакуумно-дугового переплава в среде чистого аргона из химических элементов в следующем процентном отношении: 5 ат.% алюминия, 24 ат.% ниобия, 40 ат.% титана, 5 ат.% ванадия и 26 ат.% циркония с добавлением 1 % вес.  $TiB_2$  со средним размером частиц 4 мкм.

Отличительной особенностью предложенного композита является его химический состав, неизвестный из уровня техники. Пластичная матрица на основе сплава  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}$  обеспечивает высокий баланс механических и жаропрочных свойств. Неожиданно было установлено, что введение в состав матрицы 1 % вес. высокотвердого армирующего компонента  $TiB_2$  значительно повышает прочностные свойства композита наряду с обеспечением хорошей пластичности на растяжение при комнатной температуре. Новизна и изобретательский уровень предложенного изобретения заключается в легировании высокоэнтропийной матрицы  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}$  1 % вес. армирующим компонентом  $TiB_2$ . Чистота элементов, используемых при получении заявленного композита  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}/TiB_2$ , приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Чистота элементов, используемых при получении заявленного композита  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}/TiB_2$ .

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

Изобретение иллюстрируется следующими материалами:

Фиг. 1 – Изображение микроструктуры композита  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}/TiB_2$ , (а) – сканирующая электронная микроскопия, (б) EBSD анализ (ОПФ карта).

Фиг. 2 – Кривые напряжение-деформация, полученные при испытаниях на одноосное растяжение при комнатной температуре образцов исходного сплава  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}$  и заявленного композита  $Al_5Nb_{24}Ti_{40}V_5Zr_{26}/TiB_2$ .

### ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В качестве исходных материалов используют высокочистые элементы алюминия, ниобия, титана, ванадия, циркония и порошка диборида титана ( $TiB_2$ ) со средним размером частиц 4 мкм. Далее проводят процесс вакуумно-дугового переплава с использованием установки Buehler Arc Melter 200 в среде чистого аргона при рабочей

температуре 3500°C в течение 60 минут для получения литого металломатричного композита  $\text{Al}_5\text{Nb}_{24}\text{Ti}_{40}\text{V}_5\text{Zr}_{26}/\text{TiB}_2$ .

Возможность осуществления изобретения поясняется примерами технологического процесса получения заявленного композита с высокими значениями прочности и пластичности.

Пример 1.

Для получения композита используют чистые элементы в следующем процентном отношении, ат. %: алюминий 5, ниобий 24, титан 40, ванадий 5, цирконий 26 и 1 % вес. диборида титана  $\text{TiB}_2$ . Размер частиц порошка диборида титана использован со средним размером частиц 4 мкм. 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.

Полученные слитки переплавляют 5 раз для получения однородного распределения химических элементов по объему заготовки.

Полученные в итоге слитки имели массу 50 г, пор или каких-либо других дефектов в структуре слитков обнаружено не было.

Пример 2.

Исследования микроструктуры сплава проводили с использованием растрового (сканирующего) электронного микроскопа FEI Quanta 600 FEG (фиг. 1). Видно, что полученный композит имеет однофазную ОЦК структуру с равномерным распределением боридов. Средний размер зерен составил 150 мкм.

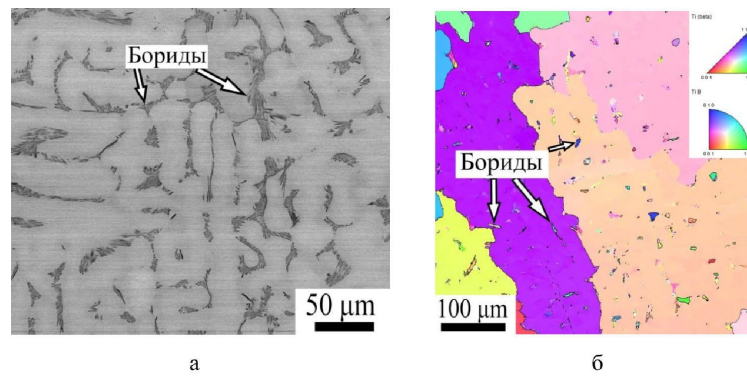
Механические испытания на растяжение полученного композита  $\text{Al}_5\text{Nb}_{24}\text{Ti}_{40}\text{V}_5\text{Zr}_{26}/\text{TiB}_2$  и для сравнения исходного сплава  $\text{Al}_5\text{Nb}_{24}\text{Ti}_{40}\text{V}_5\text{Zr}_{26}$  проводили на универсальной электромеханической испытательной машине Instron 5882 при комнатной температуре (Фиг. 2).

Значение предела прочности составило 900 МПа, предела текучести - 840 МПа, пластичность на растяжение 6 %.

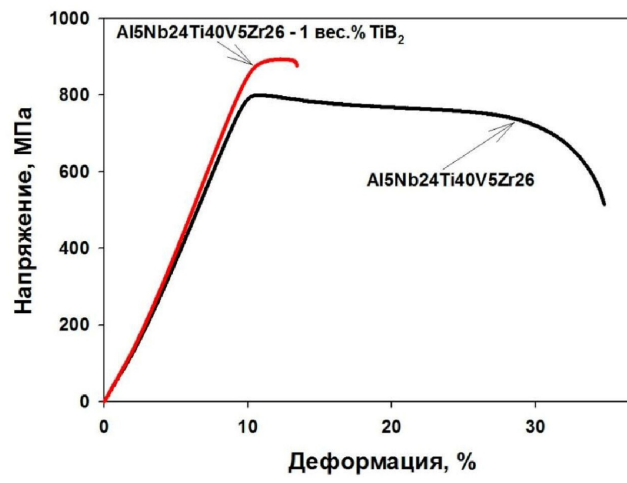
Таким образом, поставленная задача достигнута. Полученный металломатричный композит  $\text{Al}_5\text{Nb}_{24}\text{Ti}_{40}\text{V}_5\text{Zr}_{26}/\text{TiB}_2$  имеет высокие показатели предела прочности 900 МПа, предела текучести - 840 МПа и пластичности на растяжение 6 % при комнатной температуре.

#### (57) Формула изобретения

Металломатричный композит  $\text{Al}_5\text{Nb}_{24}\text{Ti}_{40}\text{V}_5\text{Zr}_{26}/\text{TiB}_2$ , содержащий матрицу из высокоэнтропийного сплава  $\text{Al}_5\text{Nb}_{24}\text{Ti}_{40}\text{V}_5\text{Zr}_{26}$  и армирующий компонент  $\text{TiB}_2$ , полученный путем вакуумно-дугового переплава в среде чистого аргона, алюминия, ниобия, титана, ванадия, циркония с добавлением  $\text{TiB}_2$  со средним размером частиц 4 мкм, при этом матричный сплав содержит: 5 ат.% алюминия, 24 ат.% ниобия, 40 ат.% титана, 5 ат.% ванадия и 26 ат.% циркония, а металломатричный композит содержит 1 мас.%  $\text{TiB}_2$ .



Фиг. 1



Фиг. 2