



(51) МПК
B22F 3/087 (2006.01)
C22C 1/10 (2006.01)
C22C 32/00 (2006.01)
B22F 3/14 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B22F 3/087 (2025.08); C22C 1/10 (2025.08); C22C 32/0073 (2025.08); B22F 3/14 (2025.08)

(21)(22) Заявка: 2025109224, 14.04.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.04.2025

Дата регистрации:
21.10.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.04.2025

(45) Опубликовано: 21.10.2025 Бюл. № 30

Адрес для переписки:
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, НИУ
"БелГУ", Крылова Анна Сергеевна

(72) Автор(ы):

Озеров Максим Сергеевич (RU),
Соколовский Виталий Сергеевич (RU),
Япрынцев Максим Николаевич (RU),
Жеребцов Сергей Валерьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

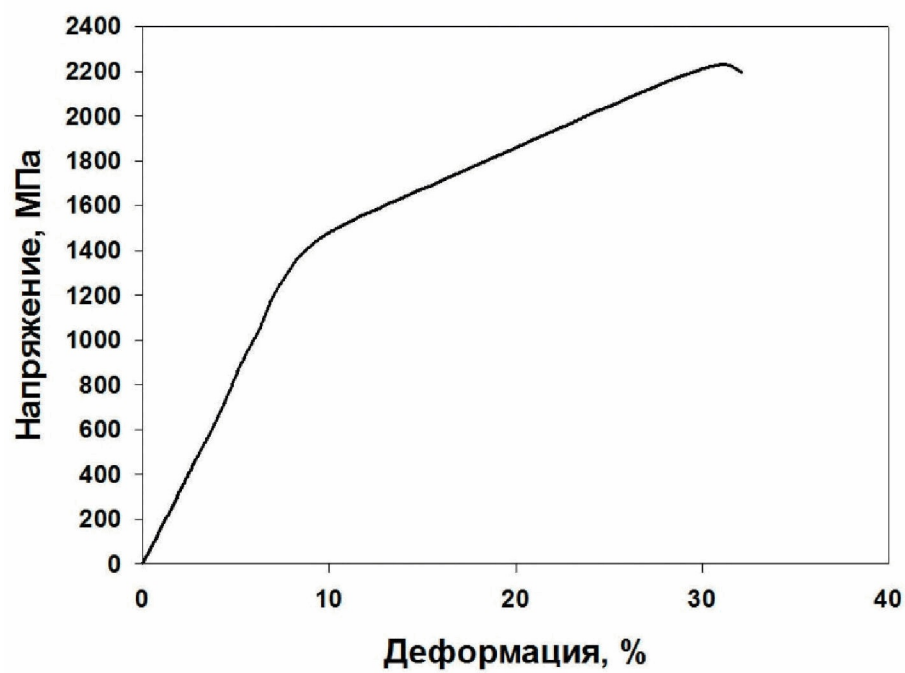
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2814924 C1, 06.03.2024. OZEROV
M.S. et al., Mechanical properties and
microstructure of Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB
composites produced by vacuum arc or selective
laser melting. Russian Physics Journal, 2024. 67:
1654-1660. Shui Wang et al., High temperature
performance of TiB/(Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V-0.5Si)
composites affected by the TiB (см. прод.)

(54) Способ получения высокопрочного композита на основе жаропрочного титанового сплава

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, а
именно к получению композиционных
материалов с металлической матрицей,
армированных высокопрочными соединениями
диборида титана, и может быть использовано в
авиации при изготовлении деталей авиационных
двигателей за счет хорошего сочетания прочности
и пластичности при комнатной температуре.
Способ включает искровое плазменное спекание
при температуре 1500°C и давлении 40 МПа в
течение 15 минут смеси высокочистого порошка
сплава Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V со средним размером

частиц 40 мкм и порошка армирующего
компонента TiB₂ со средним размером частиц 4
мкм, введенного в количестве 3 вес. % от общей
массы порошка сплава Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V,
содержащего элементы в следующем
соотношении вес. %: титана 89,5, алюминия 6,5,
циркония 2,0, молибдена 1,0, ванадия 1,0.
Технический результат изобретения заключается
в получении композита Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB
с высокими показателями предела текучести 1370
МПа и пластичностью 18 % при комнатной
температуре. 2 ил., 1 пр.



Фиг. 2

(56) (продолжение):

architecture, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 174 (2023), 107735. CN 0102382998 A, 21.03.2012.
CN 108796265 A, 13.11.2018.

RU 2 8 4 8 7 3 4 C 1

RU 2 8 4 8 7 3 4 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

B22F 3/087 (2006.01)*C22C 1/10* (2006.01)*C22C 32/00* (2006.01)*B22F 3/14* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

B22F 3/087 (2025.08); *C22C 1/10* (2025.08); *C22C 32/0073* (2025.08); *B22F 3/14* (2025.08)(21)(22) Application: **2025109224, 14.04.2025**(24) Effective date for property rights:
14.04.2025Registration date:
21.10.2025

Priority:

(22) Date of filing: **14.04.2025**(45) Date of publication: **21.10.2025** Bull. № 30

Mail address:

**308015, g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, NIU "BelGU",
Krylova Anna Sergeevna**

(72) Inventor(s):

**Ozerov Maksim Sergeevich (RU),
Sokolovskii Vitalii Sergeevich (RU),
Iapryntsev Maksim Nikolaevich (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) **METHOD FOR OBTAINING HIGH-STRENGTH COMPOSITE BASED ON HEAT-RESISTANT TITANIUM ALLOY**

(57) Abstract:

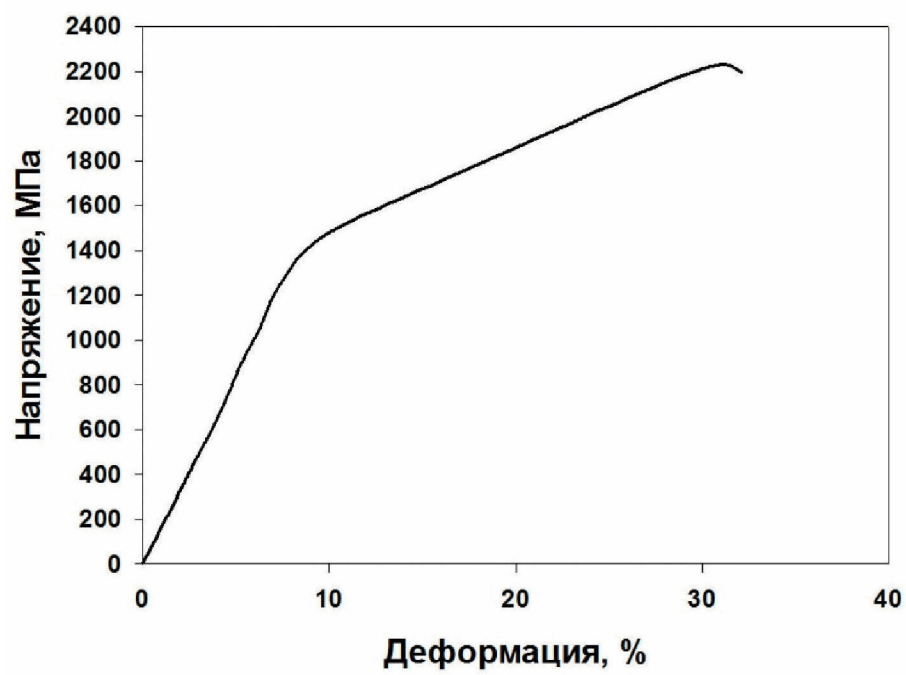
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the production of composite materials with a metal matrix reinforced with high-strength titanium diboride compounds and can be used in aviation in the manufacture of aircraft engine parts due to its good combination of strength and plasticity at room temperature. The method involves spark plasma sintering at a temperature of 1500°C and a pressure of 40 MPa for 15 minutes of a mixture of high-purity Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V alloy powder with

an average particle size of 40 mcm and TiB₂ powder with an average particle size of 4 mcm, introduced in an amount of 3 wt.% of the total mass of the Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V alloy powder containing elements in the following weight ratio %: titanium 89.5, aluminium 6.5, zirconium 2.0, molybdenum 1.0, vanadium 1.0.

EFFECT: obtaining a Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB composite with high yield strength of 1370 MPa and plasticity of 18% at room temperature.

1 cl, 2 dwg, 1 ex



Фиг. 2

RU 2848734 C1

RU 2848734 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 и пластичности при комнатной температуре.

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°C 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°C) прочности титановых сплавов является актуальным, поскольку это позволило бы значительно расширить область применения этих материалов, частично заменив 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 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 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.

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 широко используемый жаропрочный титановый сплав Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V (TA15). Были разработаны три типа композитов Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V-0,5Si (TA15 + Si) с TiB с сетевой архитектурой, TA15 + TiB + Si с TiB с однородной архитектурой и TiB/(TA15 + TiB + Si) с TiB с сетевой архитектурой и однородной архитектурой (TA15 - англоязычная аббревиатура сплава Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V). В настоящем исследовании использовались волокна TiB как лучшее керамическое армирование в 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 TA15 и предварительно легированные порошки TA15 + TiB (с различной объемной долей TiB). Сырьем армирования служили частицы TiB₂ и частицы Si. Предварительно легированные 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 - значение предела текучести для всех вариаций композитов не превышает 1000 МПа.

В патенте [RU № 2814924 C1, «Металломатричный композит на основе жаропрочного титанового сплава», Озеров М.С., Соколовский В.С., Астахов И.И., Степанов Н.Д., Жеребцов С.В.] рассмотрен металломатричный композит Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB, содержащий матрицу из жаропрочного титанового сплава BT20 и армирующий компонент TiB₂, полученный путем вакуумно-дугового переплава титана, алюминия, циркония, молибдена, ванадия с добавлением TiB₂ со средним размером частиц 4 мкм, при этом матричный сплав содержит: 89,5 вес. % титана, 6,5 вес. % алюминия, 2,0 вес. % циркония, 1,0 вес. % молибдена, 1,0 вес. % ванадия, а металломатричный композит содержит 3 вес.% TiB₂. Данный способ выбран за прототип. Значение предела текучести при комнатной температуре составляет 1100 МПа, пластичность 10 %. Недостатком данного способа являются недостаточно высокие прочностные свойства - значение предела текучести композита не превышает 1100 МПа.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Задачей изобретения является создание способа, обеспечивающего получение металломатричного композита на основе титанового сплава BT20, содержащего

элементы в следующем соотношении вес. %: титана 89,5, алюминия 6,5, циркония 2,0, молибдена 1,0, ванадия 1,0, упрочненного частицами диборида титана TiB_2 , с высокими показателями прочности и пластичности при комнатной температуре.

Технический результат изобретения заключается в получении композита $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB$ с высокими показателями предела текучести 1370 МПа и пластичностью 18 % при комнатной температуре.

Задача изобретения решается предложенным способом получения высокопрочного композита $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB$ на основе жаропрочного титанового сплава $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V$, включающим искровое плазменное спекание при температуре 1500°C и давлении 40 МПа в течение 15 минут смеси высокочистого порошка сплава $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V$ со средним размером частиц 40 мкм и порошка армирующего компонента TiB_2 со средним размером частиц 4 мкм, введенного в количестве 3 вес. % от общей массы порошка сплава $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V$, содержащего элементы в следующем соотношении вес. %: титана 89,5, алюминия 6,5, циркония 2,0, молибдена 1,0, ванадия 1,0.

Отличительной особенностью заявленного способа является то, что неожиданно было установлено, что искровое плазменное спекание при температуре 1500°C и давлении 40 МПа в течение 15 минут смеси порошков сплава $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V$ и армирующего компонента TiB_2 , введенного в количестве 3 вес. % от общей массы порошка матричного сплава $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V$, значительно повышает прочностные свойства полученного композита при комнатной температуре. Таким образом, заявленное изобретение соответствует условиям новизны и изобретательского уровня.

Изобретение иллюстрируется следующими материалами:

Фиг. 1 - Изображение микроструктуры композита $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB$ (а) - сканирующая электронная микроскопия, полированная поверхность, (б) - сканирующая электронная микроскопия, травленая поверхность.

Фиг. 2 - Кривая напряжение-деформация, полученная при испытаниях композита $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB$ на сжатие при комнатной температуре.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В качестве исходных материалов используют высокочистый порошок сплава ВТ20 со средним размером частиц 40 мкм, содержащего титана 89,5 вес. %, алюминия 6,5 вес. %, циркония 2 вес. %, молибдена 1 вес. %, ванадия 1 вес. % и порошок диборида титана TiB_2 со средним размером частиц 4 мкм. При этом, армирующий компонент порошок диборида титана TiB_2 добавляют в высокочистый порошок сплава $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V$ в количестве 3 вес.% от массы сплава. Далее проводят процесс искрового плазменного спекания при температуре 1500°C и давлении 40 МПа в течение 15 минут, в процессе которого в результате *in situ* реакции $TiB_2+Ti=2TiB$ частицы TiB_2 реагируют с матрицей титана и превращаются в бориды титана TiB с получением в итоге литого металломатричного композита $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB$.

Возможность осуществления изобретения поясняется примерами процесса получения композита $Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB$ с высокими значениями прочности при комнатной температуре.

Пример 1

Для получения композита используют высокочистый порошок со средним размером частиц 40 мкм сплава ВТ20, содержащего в вес. %: титан 89,5, алюминий 6,5, цирконий 2,0, молибден 1,0, ванадий 1,0 и порошок диборида титана со средним размером частиц 4 мкм, взятым в количестве 3 вес.% от массы сплава ВТ20. Далее проводят процесс

искрового плазменного спекания смеси порошков на установке Thermal Technology SPS 10-3 при температуре 1500°C и давлении 40 МПа в течение 15 минут с получением литого металломатричного композита Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB.

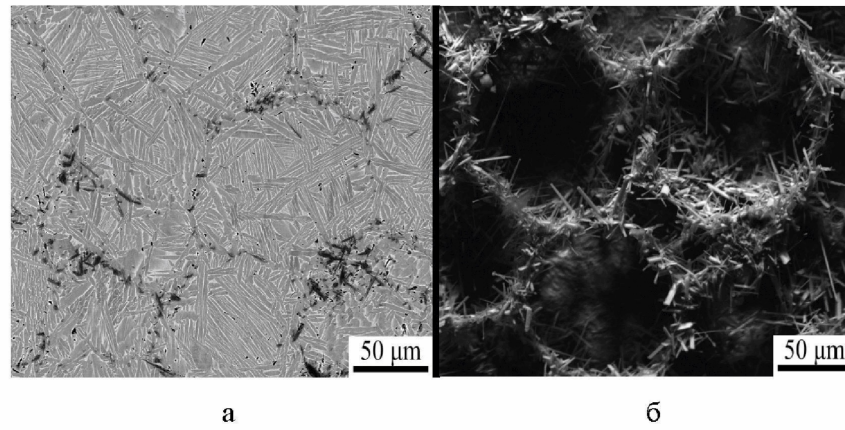
Исследования микроструктуры полученного композита проводили с использованием растрового сканирующего электронного микроскопа FEI Quanta 600 FEG, полученные изображения представлены на Фиг.1.

Механические испытания полученного композита на сжатие при комнатной температуре проводили с использованием напольной сервогидравлической испытательной машины Instron 5882. В результате испытаний значение предела текучести полученного композита при комнатной температуре составляет 1370 МПа, пластичность 18 % (Фиг.2).

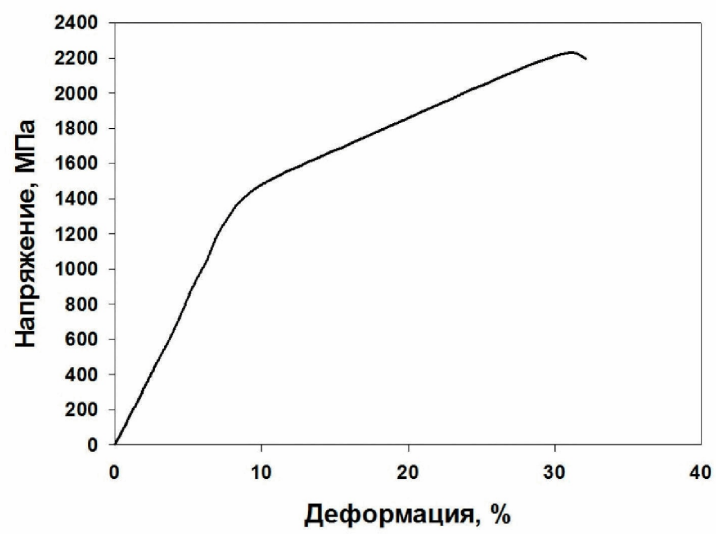
Таким образом, поставленная задача достигнута. Синтезированный методом искрового плазменного спекания металломатричный композит Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB имеет высокие прочностные показатели при комнатной температуре. В структуре полученных заготовок композита пор или каких-либо других дефектов на макроуровне и микроуровне обнаружено не было.

(57) Формула изобретения

Способ получения высокопрочного композита Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V/TiB на основе жаропрочного титанового сплава Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V, включающий искровое плазменное спекание при температуре 1500°C и давлении 40 МПа в течение 15 минут смеси высокочистого порошка сплава Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V со средним размером частиц 40 мкм и порошка армирующего компонента TiB₂ со средним размером частиц 4 мкм, введенного в количестве 3 вес. % от общей массы порошка сплава Ti-6,5Al-2Zr-1Mo-1V, содержащего элементы в следующем соотношении вес. %: титана 89,5, алюминия 6,5, циркония 2,0, молибдена 1,0, ванадия 1,0.



Фиг. 1



Фиг. 2