

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

B22F 9/14 (2026.01); B22F 3/23 (2026.01); C22C 1/0416 (2026.01); C22C 1/0458 (2026.01)

(21)(22) Заявка: 2025115039, 02.06.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.06.2025Дата регистрации:  
21.04.2026

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.06.2025

(45) Опубликовано: 21.04.2026 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

105005, Москва, вн. тер. г. Муниципальный  
округ Басманный, 2-я Бауманская ул., 5, стр.  
1, ФГАОУ ВО "МГТУ", Амелина Ксения  
Евгеньевна

(72) Автор(ы):

Марков Георгий Михайлович (RU),  
Меликянц Давид Георгиевич (RU),  
Маркова Анна Михайловна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский  
университет)" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: МАРКОВ Г.М. Получение новых  
порошковых жаропрочных сплавов на основе  
алюминидов титана и их применение в  
технологии селективного лазерного  
сплавления. Диссертация на соискание ученой  
степени кандидат технических наук. Москва,  
2024. RU 2681022 C1, 01.03.2019. RU 2354501 C1,  
10.05.2009. ВУ 10752 C1, 30.06.2008. DE 4412768  
A1, 20.10.1994. EP 397684 (см. прод.)

(54) Способ изготовления порошков сплавов на основе алюминидов титана посредством синтеза горением, плазменной обработки и контроля гранулометрических составов порошков

(57) Реферат:

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к способу получения сферического порошка сплава на основе алюминидов титана для аддитивного производства путем селективного лазерного сплавления. Может использоваться в аэрокосмической, энергетической и автомобильной промышленности для изготовления деталей горячего тракта газотурбинных установок. Высокочистые порошки титана, гидрида титана, алюминия, ниобия, молибдена и бора с размером частиц менее 40 мкм смешивают с 0,5-15 мас. % модифицирующих добавок в виде оксидов РЗМ, выбранных из иттрия, церия или европия, или

МАХ-фазы на основе титана  $Ti_2AlC$  или хрома  $Cr_2AlC$ . Полученную шихту подвергают высокоэнергетической механической обработке в планетарной мельнице при скорости вращения около 700 об/мин в атмосфере аргона. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез проводят путем прессования заготовок с последующим нагревом в трубчатой печи при температуре выше 900 °С с получением СВС-спеков, содержащих не менее 93% синтезированных алюминидов титана. Полученные спекы измельчают до размера частиц не более 125 мкм с последующим первичным размолом до фракции -63+10 мкм. Затем проводят ультразвуковую обработку при частоте 30 кГц в

**RU 2860652 C1**

**RU 2860652 C1**



**RU 2860652 C1**



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

B22F 9/14 (2026.01); B22F 3/23 (2026.01); C22C 1/0416 (2026.01); C22C 1/0458 (2026.01)

(21)(22) Application: 2025115039, 02.06.2025

(24) Effective date for property rights:  
02.06.2025Registration date:  
21.04.2026

Priority:

(22) Date of filing: 02.06.2025

(45) Date of publication: 21.04.2026 Bull. № 12

Mail address:

105005, Moskva, vn. ter. g. Munitsipalnyj okrug  
Basmannyj, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1,  
FGAOU VO "MG TU", Amelina Kseniya  
Evgenevna

(72) Inventor(s):

Markov Georgii Mikhailovich (RU),  
Melikiant David Georgievich (RU),  
Markova Anna Mikhailovna (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Moskovskii gosudarstvennyi  
tekhnicheskii universitet imeni N.E. Baumana  
(natsionalnyi issledovatel'skii universitet)» (RU)

## (54) METHOD FOR MANUFACTURING POWDERS OF TITANIUM ALUMINIDE-BASED ALLOYS BY COMBUSTION SYNTHESIS, PLASMA TREATMENT AND CONTROL OF POWDER PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS

(57) Abstract:

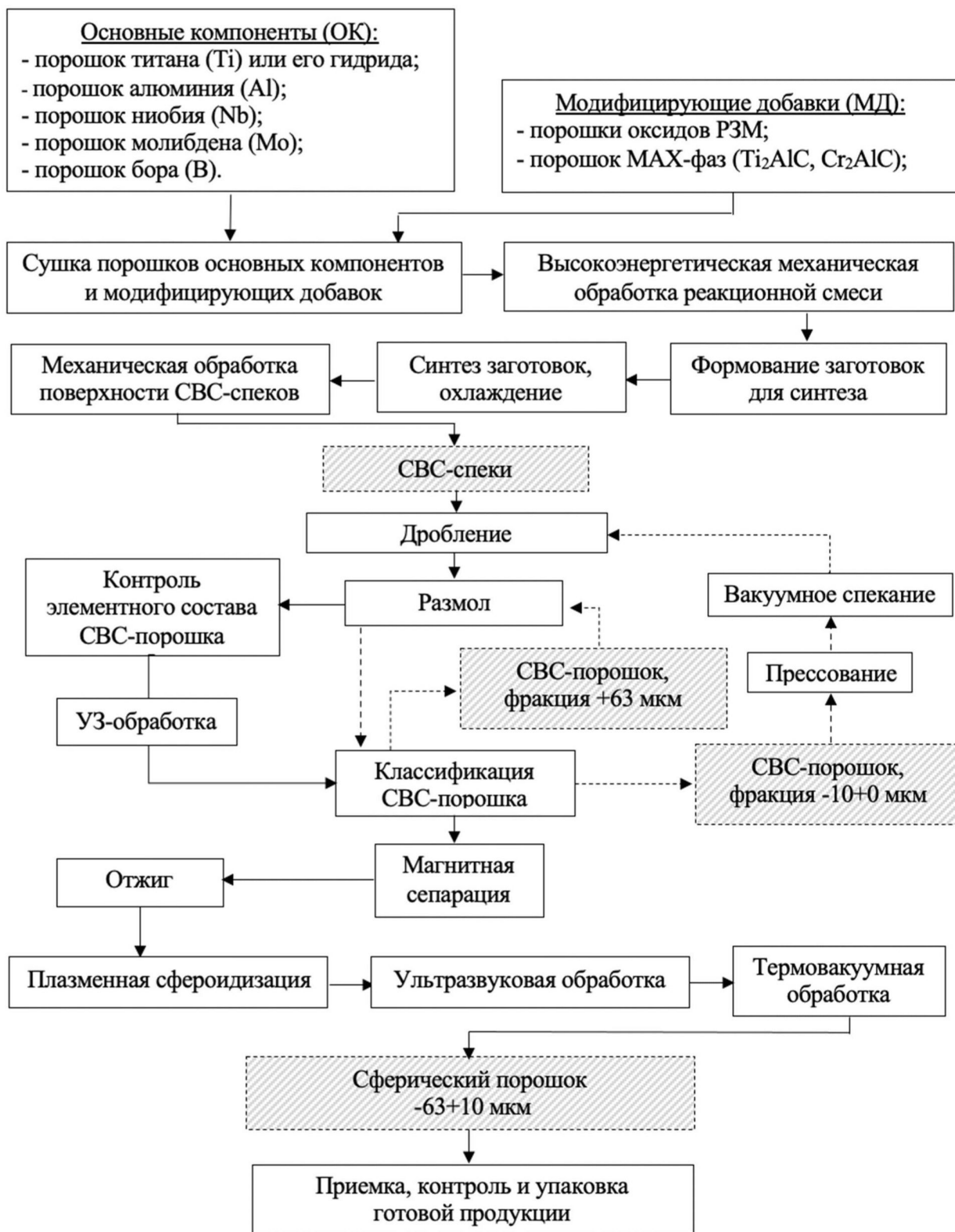
FIELD: powder metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to a method for producing a spherical powder of a titanium aluminide-based alloy for additive manufacturing by selective laser melting. It can be used in the aerospace, energy and automotive industries for the manufacture of hot gas path parts of gas turbine units. High-purity powders of titanium, titanium hydride, aluminium, niobium, molybdenum and boron with a particle size of less than 40 mcm are mixed with 0.5-15 mas.% of modifying additives in the form of rare earth metal oxides selected from yttrium, cerium or europium, or a titanium-based  $Ti_2AlC$  or chromium-based  $Cr_2AlC$  MAX phase. The resulting charge is subjected to high-energy mechanical processing in a planetary mill at a rotation speed of about 700 rpm in an argon atmosphere. Self-propagating high-temperature synthesis is carried out by pressing preforms followed by heating in a tube furnace at a

temperature above 900°C to obtain SHS sinters containing at least 93% of synthesised titanium aluminides. The obtained sinters are crushed to a particle size of not more than 125 mm, followed by primary grinding to a fraction of -63+10 mcm. Then, ultrasonic treatment is carried out at a frequency of 30 kHz for 10-15 minutes and classification is carried out using an air separator, isolating the target fraction of -63+10 mcm. Plasma spheroidisation is carried out in an arc plasma torch in an argon-hydrogen mixture to obtain a powder with a sphericity of particles of at least 95%.

EFFECT: reducing impurities of iron, oxygen and hydrogen in the powder, increasing the yield of the usable powder fraction and improving the thermomechanical properties of products made from said powder.

1 cl, 1 dwg, 2 ex



## Область техники

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к технологиям производства сферических порошков для аддитивного производства (селективного лазерного сплавления). Может применяться в аэрокосмической, энергетической и автомобильной промышленности для изготовления деталей горячего тракта газотурбинных установок.

## Уровень техники

Существует прототипный способ, описанный в главе 2, опубликованной 03.09.2024 в сети Интернет диссертации «Получение новых порошковых жаропрочных сплавов на основе алюминидов титана и их применение в технологии селективного лазерного сплавления» одного из авторов предлагаемого изобретения Маркова Г.М. (<https://mis.ru/science/dissertations/2024/3801/>), основанный на синергии высокоэнергетической механической обработки (ВЭМО), самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в режиме объемного горения (или синтеза горением) и контролируемой плазменной обработки, включающий следующие последовательные основные технологические операции: приготовления шихты смешиванием из исходных материалов и модифицирующих добавок, ВЭМО смеси, СВС, механическую обработку СВС-спеков дроблением и размолотом, классификацию (с контролем гранулометрических составов порошков) и разделение фракций порошка с получением узкой фракции -63+10 мкм (размер частиц от 10 мкм до 63 мкм), плазменную сфероидизацию полученного узкофракционного порошка с обеспечением сферичности частиц не менее 95%, ультразвуковую очистку-промывку готового порошка и окончательную термовакуумную обработку годного узкофракционного порошка.

Способ изготовления сферических порошков сплавов на основе алюминидов титана включает последовательные этапы:

приготовления шихты из смеси исходных материалов,

ВЭМО смеси,

СВС,

механическую обработку СВС-спеков дроблением и размолотом,

классификацию,

плазменную сфероидизацию,

ультразвуковую очистку-промывку готового порошка и

термовакuumную обработку для просушивания готового порошка от набранной влаги,

при этом в качестве шихты используют высокочистые порошки титана, гидроксида титана, алюминия, ниобия, молибдена, бора в качестве основных компонентов (ОК) с размером частиц менее 40 мкм, смешанные с 0,5-15% модифицирующих добавок в виде редкоземельного металла (РЗМ) оксида иттрия  $Y_2O_3$ , либо технически чистого углерода или кремния, при этом смешивание проводят для повышения реакционной способности шихты;

ВЭМО реакционной смеси осуществляют в планетарной мельнице при скорости вращения около 700 об/мин в атмосфере аргона, обеспечивая гомогенизацию смеси;

СВС осуществляют путем прессования заготовок с последующим нагревом в трубчатой печи при температуре выше 900°C с получением СВС-спеков (заготовок после СВС), содержащих не менее 93% синтезированных алюминидов титана;

механическую обработку спеков проводят дроблением до размера частиц не более 125 мкм с последующим размолотом до фракции -63+10 мкм;

классификацию с гранулометрическим контролем полученного порошка проводят

с использованием воздушного сепаратора для выделения трех фракций: -63+10 мкм (целевая фракция), две фракции на повторную переработку: -10 мкм (пыль до 10 мкм размера частиц - на возврат в цикл) и +63 мкм (частицы размером свыше 63 мкм - на повторный размол), что обеспечивает получение узкой фракции порошка;

- 5 плазменную сфероидизацию узкой целевой фракции порошка осуществляют в электродуговом плазмотроне в среде аргон-водородной смеси, что способствует снижению окисления и улучшению структуры поверхности частиц и обеспечивают сферичность частиц не менее 95%.

- 10 Однако этот способ недостаточно технически эффективен, так как ограничен суженным перечнем модифицирующих добавок и выходом годной фракции высококачественного узкофракционного сферического порошка за один цикл техпроцесса не более 75% от общей массы исходных материалов, а также и общего качества годного порошка.

#### Раскрытие изобретения

- 15 Технический результат модифицированного способа заключается в существенном улучшении технических показателей получаемых сферических узкофракционных порошков на основе алюминидов титана, проявляющемся:

- в расширении перечня готовых сплавов из получаемых порошков с улучшением их различных термомеханических свойств за счет расширения перечня исходных модифицирующих добавок;
- 20 - в существенном уменьшении примесей железа, кислорода и водорода в порошке (для повышения его качества) за счет дополнительных операций магнитной сепарации (против железа) и отжига (против кислорода и водорода) перед плазменной сфероидизацией порошка;
- 25 - в увеличении выхода годной фракции сферического узкофракционного порошка за цикл с 75% в прототипном способе до 85-92% от общей массы исходных материалов за счет тонкой оптимизации режимов измельчения СВС-спеков и классификации с гранулометрическим контролем фракционных составов порошков, в том числе перед классификацией проводят ультразвуковую обработку размолотого порошка для
- 30 дополнительной деагломерации частиц и повышения эффективности классификации фракций и увеличения % выхода годного порошка.

- Таким образом, в отличие от прототипного способа, в предлагаемом способе расширен список допустимых редкоземельных металлов (РЗМ) (примечание: иттрий - тоже один из РЗМ) и МАХ-фазы в качестве модифицирующих добавок, и добавлены
- 35 три операции: ультразвуковой обработки порошка перед классификацией и разделением размолотого СВС-порошка на фракции; и перед операцией плазменной сфероидизации магнитной сепарации полученного узкофракционного (-63+10 мкм) порошка и его отжига.

- Способ изготовления сферических порошков сплавов на основе алюминидов титана
- 40 включает вышеуказанные в разделе уровень техники последовательные этапы прототипного способа и при этом: в качестве модифицирующих добавок могут дополнительно использовать оксиды РЗМ: церия или европия, либо МАХ-фаз на основе титана  $Ti_2AlC$  или хрома  $Cr_2AlC$ ; перед классификацией проводят ультразвуковую
- 45 обработку порошка размолотого СВС-спеков при частоте 30 кГц в течение 10-15 минут; после классификации перед операцией плазменной сфероидизации узкофракционного порошка (-63 мкм +10 мкм) проводят его магнитную сепарацию для избавлений от примесей железа и операцию отжига порошка для избавления от нежелательных примесей кислорода и водорода; с общим результатом существенно увеличенного

выхода более качественного малопримесного сферического узкофракционного порошка за цикл техпроцесса 85...92% от общей массы исходных материалов.

#### Осуществление изобретения

На рисунке представлена технологическая блок-схема предлагаемого способа с перечнем материалов, модифицирующих добавок, операций и получаемых состояний порошка (в заштрихованных блоках со штриховыми рамками).

#### Примеры осуществления изобретения

**Пример 1:** Получение порошка с модифицирующей добавкой  $Y_2O_3$ . Приготовление шихты осуществляли с применением порошка титана ПТОМ-1 (99.5% Ti, <40 мкм) - 80 мас.%, порошок алюминия ПА-4 (98.5% Al, <140 мкм) - 15 мас.%, порошок оксида иттрия ИтО-И (99.9%  $Y_2O_3$ , <1 мкм) - 5 мас.%. (или другие оксиды РЗМ: церия или европия) - все модифицирующие добавки концентрацией менее 1,5% и дают тонкие неочевидные изменения различных термомеханических свойств готового порошка для дальнейших аддитивных технологий.

На этапе высокоэнергетической механической обработки смесь загружается в барабан планетарной мельницы с шарами марки ШХ15 (Ø10 мм, соотношение шары:порошок 10:1) и обрабатывается в атмосфере аргона (99.993% чистоты) при 750 об/мин в течение 3 часов.

Полученный порошок прессуется в цилиндрическую заготовку (Ø25 мм, высота 15 мм) под давлением 500 кН на гидравлическом прессе Lab Econ 600. Заготовка помещается в трубчатую печь с силитовыми нагревателями и нагревается до 1050°C в течение 20 минут в аргоновой атмосфере.

При механической обработке спеченный материал дробится в щековой дробилке до размера частиц <125 мкм, затем первично размалывается в шаровой мельнице до целевой фракции -63+10 мкм.

Далее сфероидизированный порошок классифицируется на лабораторном воздушном классификаторе с выделением фракции -63+10 мкм.

На этапе плазменной сфероидизации порошок подается в электродуговой плазмотрон установки плазменной сфероидизации со скоростью 0.8 кг/ч. Плазмообразующий газ - аргон (2 м<sup>3</sup>/ч), мощность плазмотрона - 28 кВт, температура плазмы - 9000°C.

За счет оптимизации режимов обработки (скорости вращения барабана мельницы, длительностей обработки, магнитной сепарации и отжига) выход готовой продукции составил 92% от общей массы исходных материалов.

**Пример 2:** Получение порошка TiAl с модификатором МАХ-фазы  $Ti_2AlC$  (или  $Cr_2AlC$ ). Аналогично примеру 1, но вместо  $Y_2O_3$  использовался другой вид модифицирующей добавки - порошок МАХ-фазы (93.9% чистоты, <5 мкм) в количестве 3 мас.% (можно до 5%). Плазменная сфероидизация проводилась в смеси аргона Ar (1.5 м<sup>3</sup>/ч) и водорода H<sub>2</sub> (0.5 м<sup>3</sup>/ч). В этом примере за счет оптимизации режимов обработки (скорости вращения мельницы, длительности обработки, магнитной сепарации) выход готового порошка составил 85% от общей массы исходных материалов, меньше чем 92% в примере 1, но больше, чем 75% в прототипном способе, так как МАХ фаза частично растворяется во время СВС, что способствует увеличению количеству крупных и твердых частиц в СВС-спеках, требующих дополнительное время на размол, в результате чего появляется большее количество потерь материала годной фракции.

В обоих примерах перед классификацией проводили ультразвуковую обработку порошка при частоте 30 кГц в течение 10-15 минут, что способствовало дополнительной

деагломерации частиц для повышения эффективности классификации порошка и увеличения % выхода годного порошка. После этапа классификации проводили магнитную сепарацию для избавлений от примесей железа (ориентировочное снижение с 1% железа до 0.05%) и операцию отжига для избавления от нежелательных примесей кислорода и водорода (снижение примесного водорода до 0,002% и кислорода до 0,4%). Проведение магнитной сепарации способствует очищению порошка от примесей железа, образующегося в результате измельчения. Отжиг порошка в печи позволяет избавиться от влаги  $H_2O$ , приобретенной на различных этапах передела в результате контакта порошка с атмосферой. Эти две операции приводят к повышению качества малопримесного сферического узкофракционного порошка.

#### (57) Формула изобретения

Способ изготовления сферических порошков сплавов на основе алюминидов титана, включающий приготовление шихты путем смешивания высокочистых порошков титана, гидрида титана, алюминия, ниобия, молибдена и бора с размером частиц менее 40 мкм с 0,5-15 мас. % модифицирующих добавок, высокоэнергетическую механическую обработку в планетарной мельнице при скорости вращения 750 об/мин в атмосфере аргона, обеспечивая гомогенизацию смеси, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) путем прессования заготовок с последующим нагревом в трубчатой печи при температуре выше 900 °С с получением заготовок СВС-спеков, дробление спеков до размера частиц не более 125 мм с последующим первичным размолотом до фракции -63+10 мкм, классификацию с контролем гранулометрического состава порошка с использованием воздушного сепаратора и выделением целевой фракции -63+10 мкм, плазменную сфероидизацию полученной целевой фракции порошка в электродуговом плазмотроне в среде аргон-водородной смеси, в конце ультразвуковую очистку-промывку готового порошка и термовакуумную обработку для его просушивания от набранной влаги, отличающийся тем, что в качестве модифицирующих добавок используют оксиды редкоземельных металлов (РЗМ), выбранных из иттрия, церия или европия, или МАХ-фазы на основе титана  $Ti_2AlC$  или хрома  $Cr_2AlC$ , в результате СВС получают СВС-спек, содержащий не менее 93% синтезированных алюминидов титана, при этом перед классификацией проводят ультразвуковую обработку порошка при частоте 30 кГц в течение 10-15 минут; после классификации проводят магнитную сепарацию и отжиг порошка для устранения примесей железа, кислорода и водорода, соответственно, а после плазменной сфероидизации получают порошок со сферичностью частиц не менее 95%.

