

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202391014** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки
2023.06.05

(51) Int. Cl. **B22F 9/02** (2006.01)
B22D 11/06 (2006.01)
C23F 1/44 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2021.09.26

(54) **ПОРОШОК СПЛАВА, СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ**

(31) **202011069507.4**

(72) Изобретатель:

(32) **2020.09.30**

Чжао Юаньюнь, Лю Ли (CN)

(33) **CN**

(74) Представитель:

(86) **PCT/CN2021/120572**

Забгаева У.Г. (RU)

(87) **WO 2022/068710 2022.04.07**

(71) Заявитель:

ЧЖАО ЮАНЬЮНЬ (CN)

(57) Изобретение относится к способу получения порошка сплава определенной категории и его применению. Путем выбора подходящей системы сплавов и плавления исходного расплава сплава с использованием сырья низкой чистоты, порошок сплава высокой чистоты, и матричная фаза, охватывающая порошок сплава высокой чистоты, выпадает в осадок в процессе отвердевания исходного расплава сплава, и одновременно достигается легирование порошка сплава высокой чистоты в твердом растворе. Порошок сплава может быть получен путем удаления матричной фазы, охватывающей порошок сплава высокой чистоты; порошок сплава высокой чистоты также может быть получен путем удаления матричной фазы, охватывающей порошок сплава высокой чистоты в соответствующее время. Способ прост и позволяет получать различные порошковые материалы из сплавов с различной морфологией на нано, субмикронном, микронном и даже миллиметровом уровне, что имеет хорошие перспективы применения в таких областях, как катализ, порошковая металлургия, композиционные материалы, магнитные материалы, стерилизация, литье металлов под давлением, 3D печать металлическими порошками, покрытия и композитные материалы.

A1

202391014

202391014

A1

ПОРОШОК СПЛАВА, СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Настоящее изобретение относится к технической области металлических материалов и, в частности, к способу получения порошка сплава определенной категории и его применению.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002] Металлический порошок с микро-нано размером частиц обладает особым поверхностным эффектом, квантово-размерным эффектом, эффектом квантового туннелирования и эффектом кулоновской блокады и демонстрирует множество уникальных характеристик, отличающихся от традиционного материала в аспектах оптических, электрических, магнитных и каталитических свойств, и, таким образом, является широко используемым во многих областях, таких как оптико-электронные компоненты, поглощающие материалы и высокоэффективные катализаторы.

[0003] В настоящее время способы получения ультрадисперсного металлического порошка можно разделить на твердофазный метод, жидкофазный метод и газофазный метод в зависимости от состояния вещества. Твердофазный метод в основном включает в себя метод механического измельчения, метод ультразвукового дробления, метод термического разложения и метод взрыва. Жидкофазный метод в основном включает в себя метод осаждения, алкоксидный метод, карбонильный метод, метод распылительной термической сушки, метод сублимационной сушки, метод электролиза и метод химической конденсации. Газофазный метод в основном включает в себя метод газофазной реакции, плазменный метод, высокотемпературный плазменный метод, метод испарения и метод химического осаждения из паровой фазы. Хотя существует множество методов получения ультрадисперсного металлического порошка, каждый метод имеет некоторые ограничения. Например, недостатками жидкофазного метода являются низкий выход, высокая стоимость и сложный технологический процесс. Недостатком механического метода является то, что сортировка порошка затруднена после его приготовления, и трудно гарантировать чистоту, мелкость и морфологию порошка. Метод вращающегося электрода и метод распыления газа являются в настоящее время основными методами получения высокоэффективных порошков металлов и сплавов, но эффективность производства низкая, выход ультрадисперсного порошка невелик, а потребление энергии относительно велико. Метод измельчения воздушным потоком и метод гидрирования-дегидрирования подходят для массового промышленного производства, но они обладают высокой селективностью по отношению к

необработанному металлу и сплавам.

[0004] Кроме того, содержание примесей, особенно кислорода, в металлическом порошке или порошке сплава оказывает большое влияние на его свойства. В настоящее время содержание примесей в металлическом порошке или порошке сплава в основном контролируется путем контроля чистоты сырья и степени вакуума, что является дорогостоящим. Поэтому очень важно разработать новый способ получения высокочистых металлических порошковых материалов.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0005] Исходя из вышеизложенного, необходимо обеспечить способ получения порошкового материала из сплава высокой чистоты, который является простым в технологическом процессе, имеет низкую стоимость и прост в эксплуатации ввиду вышеупомянутых технических задач.

[0006] Для решения вышеупомянутых технических задач техническим решением настоящего изобретения является:

[0007] Металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, где металлический материал получают отверждением расплава сплава, и структура металлического материала включает фазу дисперсных частиц, эндогенно осажденных во время отверждения исходного сплава, и матричную фазу, охватывающую дисперсные частицы, которые соответствуют эндогенному порошку сплава и охватывающему материалу соответственно; основным элементарным составом эндогенного порошка сплава является $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$, а основным элементарным составом охватывающего материала является $A_{b2}T_{c2}$; и M , и A содержат один или несколько металлических элементов, T – примесный элемент, включающий кислород, $a1$, $b1$, $c1$, $b2$ и $c2$ представляют собой атомное процентное содержание соответствующего элемента, и $a1+b1+c1=100\%$, $b2+c2=100\%$, $c2>c1>0$, $b1>0$; температура плавления эндогенного порошка сплава выше, чем у охватывающего материала; эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ содержит элемент A в твердом растворе; M и A содержат пару или пары комбинаций элементов M^1-A^1 , которые не будут образовывать соответствующие интерметаллические соединения, где M^1 представляет любой отдельный элемент в M , а A^1 представляет любой отдельный элемент в A , основные элементы в M состоят из каждого элемента M^1 , который удовлетворяет условиям комбинирования M^1-A^1 , и основные элементы в A состоят из каждого элемента A^1 , который удовлетворяет условиям комбинирования M^1-A^1 , таким образом, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, не будет образовывать интерметаллические соединения, состоящие из основных элементов в M и основных

элементов в А после полного плавления и повторного отвердевания, а будет образовывать эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ и охватывающий материал $A_{b2}T_{c2}$.

[0008] Дополнительная информация: Т - примесные элементы, включающие кислород, что означает, что Т - примесные элементы, и Т включает кислород.

[0009] Способы отвердевания исходного расплава сплава включают обычное литье, непрерывное литье, прядение из расплава и извлечение из расплава. Размер частиц эндогенного порошка сплава зависит от скорости отвердевания исходного расплава сплава. В общем, размер частиц эндогенного порошка сплава отрицательно коррелирует со скоростью отвердевания исходного расплава сплава, то есть, чем больше скорость отвердевания исходного расплава сплава, тем меньше размер частиц эндогенного порошка сплава.

[0010] Кроме того, способ отвердевания исходного расплава сплава не включает способ отвердевания, соответствующий технологии распыления;

[0011] Дополнительная информация: скорость отвердевания исходного расплава сплава колеблется от 0,001К/с до 108 К/с.;

[0012] Кроме того, диапазон скорости отвердевания исходного расплава сплава включает от 0,001К/с до 107 К/с.;

[0013] Кроме того, диапазон размеров частиц эндогенного порошка сплава включает от 3 нм до 10 мм.

[0014] Дополнительная информация: размер частиц эндогенного порошка сплава колеблется от 3 нм до 1 мм;

[0015] Предпочтительно, размер частиц эндогенного порошка сплава колеблется от 3 нм до 500 мкм;

[0016] Предпочтительно, размер частиц эндогенного порошка сплава колеблется от 3 нм до 99 мкм;

[0017] Предпочтительно, размер частиц эндогенного порошка сплава колеблется от 3 нм до 25 мкм;

[0018] Предпочтительно, размер частиц эндогенного порошка сплава колеблется от 3 нм до 10 мкм;

[0019] Кроме того, не указана форма частиц эндогенного порошка сплава, которая может включать, по меньшей мере, одну из дендритных форм, сферическую форму, субсферическую форму, квадратную форму, округлую форму и форму стержня; в случае, если частица имеет форму стержня, размер частиц связан с диаметром поперечного сечения стержня.

[0020] Форма металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и

охватывающего материала, связана со способами отвердевания: в случае непрерывного литья его форма в основном имеет форму планки; в случае формования из расплава его форма в основном имеет форму ленты или листа; а в случае извлечения расплава, его форма в основном имеет форму проволоки. Чем выше скорость отвердевания, тем тоньше, меньше и уже поперечное сечение металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала; и наоборот, тем толще, больше и шире поперечное сечение.

[0021] Кроме того, форма металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, не включает порошок изделия, соответствующего технологии распыления.

[0022] Кроме того, когда исходный расплав сплава отвердевает с помощью средств, включающих выдавливание расплава, и скорость отвердевания составляет 100 К/с~107 К/с, может быть получена лента металлического материала, состоящая из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала толщиной 10 мкм~ 5 мм, размер частиц содержащегося эндогенного порошка сплава варьируется от 3 нм до 200 мкм.

[0023] Кроме того, когда исходный расплав сплава отвердевает с помощью средств, включающих обычное литье или непрерывное литье, и скорость отвердевания составляет 0,001К/с~100 К/с, может быть получен металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала в форме блока, у которого, по меньшей мере, один размер согласно трехмерной шкале превышает 5 мм, а размер частиц содержащегося эндогенного порошка сплава составляет от 200 мкм до 10 мм.

[0024] Дополнительная информация: кроме того, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, имеет форму ленты, толщина которой составляет 5 мкм~ 5 мм;

[0025] Кроме того, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, имеет форму ленты, толщина которой составляет 10 мкм~1 мм;

[0026] Кроме того, нижний предел объемного процентного содержания эндогенного порошка сплава в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, составляет 1%, а верхний предел представляет собой объемное процентное содержание, при котором эндогенный порошок сплава может быть дисперсно распределен в охватывающем материале.

[0027] При рассмотрении количества эндогенного порошка сплава, которое может быть охвачено охватывающим материалом, необходимо точно оценить объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава, поскольку соотношение объемов напрямую

связано с дисперсным распределением эндогенного порошка сплава. Объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава может быть преобразовано в атомное процентное содержание с помощью соотношений каждого элемента, таких как плотность и атомный вес. В случае, если матричным элементом охватываемого материала является элемент с большим числом атомов, матрица может привести к более высокому объемному процентному содержанию за счет меньшего атомного процентного содержания, чтобы значительно увеличить содержание эндогенного порошка сплава, который может быть охвачен. Например, в расплаве сплава с атомным процентным содержанием $\text{Ce}_{50}\text{Ti}_{50}$ массовое процентное содержание Ce и Ti составляет 74,53 мас.% и 25,47 мас.% соответственно, учитывая, что плотность Ce и Ti составляет 6,7 г/см³ и 4,5 г/см³ соответственно, можно рассчитать, что объемное процентное содержание Ce и Ti в расплаве при атомном процентном содержании $\text{Ce}_{50}\text{Ti}_{50}$ составляет 66 об.% и 34 об.% соответственно. Если Ti осаждается из расплава, без учета твердого раствора и примесей, его объемное процентное содержание составляет всего около 34 об.%, что указывает на то, что даже если атомное процентное содержание Ti в сплаве Ce-Ti превышает 50%, его объемное процентное содержание все равно может быть значительно ниже 50%, что выгодно для получения дисперсно распределенных частиц Ti.

[0028] Поскольку применение металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватываемого материала, в основном зависит от применения соответствующего эндогенного порошка сплава, охватываемый материал следует удалить позже. Следовательно, если объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава составляет менее 1%, это приведет к большой потере практической значимости применения охватываемого материала.

[0029] Размер и морфология эндогенного порошка сплава, получаемого при использовании различных систем сплавов и различных скоростей отвердевания, также различны. Например, в случае, когда скорость охлаждения относительно высока и эндогенный порошок сплава представляет собой в основном мелкодисперсный сферический или субсферический нанопорошок, рост частиц ограничен и легко поддерживать определенное пространство и дистанцию между частицами, поэтому возможно достижение относительно высокого объемного процентного содержания эндогенного порошка сплава при условии, что эндогенный порошок сплава распределен дисперсно в охватываемом материале; в случае, если скорость охлаждения относительно низкая и эндогенный порошок сплава в основном представляет собой дендрит грубого помола, рост частиц достаточен, и различным частицам легко встречаться, сливаться и спутываться в процессе роста частиц эндогенного сплава, поэтому эндогенный

дендритный порошок сплава может достигать только относительно низкого объемного процентного содержания при условии, что частицы эндогенного сплава распределены дисперсно в охватывающем материале.

[0030] Предпочтительно, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, составляет от 5% до 50%;

[0031] Кроме того, предпочтительно, чтобы объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, составляло от 5% до 40%; нижний предел обеспечивает экономичность, а верхний предел полностью гарантирует, что эндогенный порошок сплава может быть дисперсно распределен в охватывающем материале.

[0032] Эндогенный порошок сплава затвердевает и осаждается из исходного расплава. Согласно теории нуклеации и роста, рост кристаллов либо субсферической наночастицы, которая только что образовалась и выросла, либо микронной дендритной частицы, которая полностью выросла, имеет фиксированные ориентационные отношения, так что все отдельные частицы, выпавшие в осадок, в основном состоят из монокристалла.

[0033] Когда объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава относительно велико, нельзя исключать, что две или более частиц могут быть объединены во время эндогенного осаждения монокристаллической частицы. Если две или более монокристаллических частиц лишь слабо агломерированы, взаимно адсорбированы или соединены только несколькими контактами, не будучи полностью объединенными в одну частицу через нормальную границу зерен, как в поликристаллических материалах, они все еще являются двумя монокристаллическими частицами. После удаления охватывающего материала в ходе последующего процесса эти монокристаллические частицы могут быть легко отделены с помощью таких методов, как ультразвуковая диспергирующая обработка и дробление в струйной мельнице. Однако для обычных пластичных поликристаллических металлических материалов трудно отделить границы зерен с помощью таких методов, как ультразвуковая диспергирующая обработка и дробление в струйной мельнице.

[0034] Предпочтительно, чтобы количество монокристаллических частиц эндогенного порошка сплава составляло не менее 60% от общего количества частиц.

[0035] Кроме того, предпочтительно, чтобы количество монокристаллических частиц эндогенного порошка сплава составляло не менее 75% от общего количества частиц.

[0036] Кроме того, предпочтительно, чтобы количество монокристаллических частиц эндогенного порошка сплава составляло не менее 90% от общего количества частиц.

[0037] Дополнительная информация: в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, как эндогенный порошок сплава, так и охватывающий материал находятся в кристаллическом состоянии;

[0038] Основным элементным составом эндогенного порошка сплава является $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$, а основным элементным составом охватывающего материала является $A_{b2}T_{c2}$; как M , так и A содержат один или более металлических элементов, T является примесным элементом, включающим кислород, $a1$, $b1$, $c1$, $b2$, $c2$ представляют атомное процентное содержание соответствующего элемента, и $a1+b1+c1=100\%$, $b2+c2=100\%$.

[0039] Здесь состав элементов представлен с использованием атомного процентного содержания элементов, так что увеличение или уменьшение содержания элементов может быть точно выражено с использованием понятия количества вещества, например, увеличение или уменьшение содержания примесных элементов. Если содержание различных элементов представлено с использованием весовых процентов (или частей на миллион) элементов, легко сделать неправильный вывод из-за различных атомных весов элементов. Например, если сплав с атомным процентным содержанием $Ti_{45}Gd_{45}O_{10}$ содержит 100 атомов, где атомное процентное содержание O равно 10 ат.%. 100 атомов разделены на $Ti_{45}O_4$ (атомно-процентный состав $Ti_{91.8}O_{8.2}$) и $Gd_{45}O_6$ (атомно-процентный состав $Gd_{88.2}O_{11.8}$). Атомное процентное содержание кислорода в $Gd_{45}O_6$ увеличено до 11,8 ат.%, а атомное процентное содержание кислорода в $Ti_{45}O_4$ уменьшено до 8,2 ат.%, и, таким образом, точно показано, что O обогащен в Gd . Если измерять массовое процентное содержание O , то массовое содержание O в $Ti_{45}Gd_{45}O_{10}$ составляет 1,70 мас.%, массовое содержание O в $Ti_{45}O_4$ и $Gd_{45}O_6$ составляет 2,9 мас.% и 1,34 мас.% соответственно. В этом случае может быть сделан неверный вывод о том, что содержание O в $Ti_{45}O_4$ увеличено по сравнению с содержанием O в $Gd_{45}O_6$.

[0040] Кроме того, температура плавления эндогенного порошка сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ выше, чем у охватывающего материала $A_{b2}T_{c2}$; когда такое условие выполняется, матричная фаза исходного сплава отвердевает последней и охватывает эндогенный порошок сплава.

[0041] Кроме того, эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ содержит элемент A в твердом растворе, то есть $0 < b1$.

[0042] Предпочтительно, $0 < b1 \leq 15\%$; то есть до 15% элемента A (в атомном процентном содержании) может быть полностью растворено в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$. Растворимость A в твердом состоянии в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ варьируется в зависимости от различных составов основных элементов, содержания примесей и скорости отвердевания конкретного расплава сплава. В общем, если скорость

отвердевания расплава относительно высока, а эндогенный порошок сплава относительно невелик, например, нанопорошок, большее количество элемента А может быть растворено в твердом состоянии.

[0043] Кроме того, эндогенный порошок сплава содержит определенное количество примеси Т, и содержание примесного элемента Т в эндогенном порошке сплава ниже, чем содержание примесного элемента Т в охватывающем материале, то есть $c_2 > c_1 > 0$. Это указывает на то, что для металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, полученного отвердеванием расплава сплава, примесный элемент будет обогащен в охватывающем материале $A_{b2}T_{c2}$, а эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ будет очищен.

[0044] Кроме того, Т представляет собой совокупность примесных элементов О, Н, N, Р, S, F и Cl, и Т включает О и $0 < c_1 \leq 1,5\%$.

[0045] Дополнительная информация: Т включает О, и содержание О больше нуля; если какой-либо элемент из Н, N, Р, S, F и Cl, перечисленных выше, не содержится в Т, его содержание равно нулю в Т, в противном случае его содержание в Т больше, чем ноль; содержание Т - это общее содержание элементов О, Н, N, Р, S, F и Cl.

[0046] Предпочтительно, Т представляет собой совокупность примесных элементов О, Н, N, Р, S, F и Cl, и Т включает О и $0,01\% \leq c_1 \leq 1,5\%$.

[0047] Как М, так и А содержат один или несколько металлических элементов, выбор М и А является ключевым в получении металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала. Чтобы гарантировать, что в процессе отвердевания расплава сплава не образуется интерметаллическое соединение, состоящее из основных элементов М и основных элементов А, а образуется эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ и охватывающий материал $A_{b2}T_{c2}$, М и А должны удовлетворять следующим соотношениям:

[0048] М и А содержат пару или пары комбинаций элементов M^1-A^1 , которые не будут образовывать соответствующие интерметаллические соединения, где M^1 представляет любой отдельный элемент в М, а A^1 представляет любой отдельный элемент в А, и основные элементы в М состоят из каждого элемента M^1 , который удовлетворяет условиям комбинирования M^1-A^1 , и основные элементы в А состоят из каждого элемента A^1 , который удовлетворяет условиям комбинирования M^1-A^1 .

[0049] Кроме того, в М или А, если атомное процентное содержание совокупности каждого элемента M^1 или совокупности каждого элемента A^1 , удовлетворяющих вышеуказанным условиям комбинирования, составляет более 30% в М или А, их можно назвать основным элементом в М или А, соответственно.

[0050] Кроме того, когда М включает по меньшей мере один из W, Cr, Mo, V, Ta, Nb, Zr, Hf, Ti, Fe, Co, Ni, Mn, Cu и Ag, а А включает по меньшей мере один из Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Mg, Ca, Li, Na, K, In, Pb и Zn, интерметаллическое соединение, состоящее из основных элементов в М и А, не образуется в процессе отвердевания расплава сплава. Согласно фазовым диаграммам сплава, среди элементов, перечисленных выше, для любого отдельного элемента в М, в А может быть найдена комбинированная пара M^1-A^1 , которая не образует интерметаллическое соединение, такое как Cr-Y, Ti-Ce, Fe-Mg, Co-K, Ni-Li, Mn-Mg, Cu-Li и комбинированная пара Ag-Pb. Если между М и А имеется несколько комбинированных пар M^1-A^1 , выбор каждого M^1 и каждого A^1 по-прежнему удовлетворяют условию, что при отвердевании расплава сплава не могут образовываться интерметаллические соединения. Например, если каждая из комбинированных пар Ti-Ce, Ti-Gd, Nb-Ce и Nb-Gd удовлетворяет условиям комбинирования M^1-A^1 , то комбинированная пара (Ti-Nb)-(Ce-Gd) по-прежнему будет удовлетворять условию отсутствия интерметаллических соединений во время отвердевания расплава сплава. Таким образом, основные элементы в М включают Ti и Nb; а основные элементы в А включают Ce и Gd.

[0051] Кроме того, когда основные элементы в М и основные элементы в А удовлетворяют одной или нескольким комбинированным парам M^1-A^1 , если М включает элемент M^2 , который может образовывать стабильное интерметаллическое соединение с высокой температурой плавления, с основным элементом M^1 , M^1 и M^2 будут образовывать стабильное интерметаллическое соединение с высокой температурой плавления, и как M^1 , так и M^2 не будут образовывать интерметаллическое соединение с основными элементами в А. В этом случае эндогенным порошком сплава является порошок интерметаллического соединения M^1-M^2 .

[0052] Предпочтительно, М включает в себя по меньшей мере один из W, Cr, Mo, V, Ta, Nb, Zr, Hf и Ti, а А включает в себя по меньшей мере один из Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb и Lu.

[0053] Предпочтительно, когда М включает по меньшей мере один из W, Cr, Mo, V, Ta, Nb, Zr, Hf и Ti, одновременно включая по меньшей мере один из Fe, Co и Ni, эти два элемента подкласса в М могут образовывать интерметаллические соединения с высокой температурой плавления. Когда А включает по меньшей мере один из Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb и Lu, может быть сформирован эндогенный порошок интерметаллического соединения, состоящий в основном из этих двух элементов подкласса в М.

[0054] Предпочтительно, когда М включает по меньшей мере один из элементов

подкласса W, Cr, Mo, V, Ta, Nb, Zr, Hf и Ti, при этом включает по меньшей мере один из элементов подкласса Fe, Co и Ni, и молярное соотношение этих двух элементов подкласса элементов составляет примерно 1:1, эти два элемента подкласса в М могут образовывать стабильное интерметаллическое соединение с высокой температурой плавления. Когда А включает по меньшей мере один из Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb и Lu, в процессе отвердевания расплава сплава образуется эндогенный порошок интерметаллического соединения, состоящий в основном из этих двух элементов подкласса М с молярным соотношением около 1:1, и охватывающий материал, состоящий в основном из элемента А.

[0055] Предпочтительно, М включает по меньшей мере один из Mn, Fe, Ni, Cu и Ag, а А включает по меньшей мере один из Mg, La, In, Na, K, Li и Pb.

[0056] Кроме того, М включает по меньшей мере один из Ir, Ru, Re, Os, Tc, W, Cr, Mo, V, Ta, Nb, Zr, Hf, Ti и Fe, а А включает по меньшей мере один из Cu и Zn.

[0057] Дополнительная информация: кроме того, М включает в себя по меньшей мере один из Ir, Ru, Re, Os, Tc, W, Cr, Mo, V, Ta и Nb, а А включает Cu.

[0058] Кроме того, М включает в себя по меньшей мере один из Ir, Ru, Re, Os и Tc, а А включает Cu.

[0059] Следует отметить, что А, М или Т могут включать другие легированные элементы или примесные элементы, отличные от перечисленных выше элементов. До тех пор, пока изменение содержания этих элементов не вызывает "качественного изменения" в исходном процессе отвердевания сплава и присущего ему закона, это не влияет на достижение вышеуказанного технического решения по изобретению.

[0060] Настоящее изобретение также относится к порошку сплава, в котором порошок сплава получают путем удаления охватывающего материала из металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, и его основным элементарным составом является $M_{a3}A_{b3}T_{c3}$, $a3$, $b3$ и $c3$ представляют собой атомное процентное содержание соответствующих элементарных композиций соответственно, $b3 > 0$, $a3 + b3 + c3 = 100\%$, и содержание элемента Т в порошке сплава выше, чем в эндогенном порошке сплава, то есть $c3 > c1 > 0$.

[0061] Порошок сплава получают путем удаления охватывающего материала из металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала. Таким образом, большинство характеристик порошка сплава соответствуют характеристикам эндогенного порошка сплава. Разница заключается в том, что эндогенный порошок сплава заворачивается в охватывающий материал, устраняя влияние примесей, таких как кислород, в окружающей среде. Для порошка сплава, особенно когда

размер частиц порошка сплава является мелким (например, нанопорошок сплава), поверхностные атомы порошка сплава будут соединяться с примесным элементом, таким как кислород, в процессе воздействия, увеличивая содержание элемента Т, то есть $c_3 > c_1 > 0$.

[0062] Предпочтительно, чтобы количество монокристаллических частиц в порошке сплава составляло не менее 60% от общего количества частиц.

[0063] Кроме того, предпочтительно, чтобы количество монокристаллических частиц в порошке сплава составляло не менее 75% от общего количества частиц.

[0064] Кроме того, предпочтительно, чтобы количество монокристаллических частиц в порошке сплава составляло не менее 90% от общего количества частиц.

[0065] Предпочтительно, размер частиц порошка сплава находится в диапазоне от 3 нм до 10 мкм.

[0066] Дополнительная информация: размер частиц порошка сплава колеблется от 3 нм до 1 мкм;

[0067] Предпочтительно, размер частиц порошка сплава колеблется от 3 нм до 500 мкм;

[0068] Предпочтительно, размер частиц порошка сплава колеблется от 3 нм до 99 мкм;

[0069] Предпочтительно, размер частиц порошка сплава колеблется от 3 нм до 25 мкм;

[0070] Предпочтительно, размер частиц порошка сплава колеблется от 3 нм до 10 мкм;

[0071] Предпочтительно, размер частиц порошка сплава колеблется от 3 нм до 5 мкм;

[0072] Настоящее изобретение также относится к порошку сплава сферической или субсферической формы, в котором порошок сплава сферической или субсферической формы получают путем плазменной сфероидизации порошка сплава. И его основным элементарным составом является $M_{a_4}A_{b_4}T_{c_4}$, a_4 , b_4 и c_4 представляют собой атомное процентное содержание соответствующих элементарных композиций, $b_4 > 0$, $a_4 + b_4 + c_4 = 100\%$, и содержание элемента Т в сферическом или субсферическом порошке сплава выше, чем в порошке сплава без обработки плазменной сфероидизацией, то есть $c_4 > c_3 > c_1 > 0$.

[0073] Кроме того, перед обработкой плазменной сфероидизацией выбранные частицы подвергаются предварительному дроблению в струйной мельнице; возможные спутанные частицы могут быть диспергированы и измельчены с помощью струйной мельницы, что облегчает последующую обработку плазменной сфероидизацией.

[0074] Кроме того, перед обработкой плазменной сфероидизацией выбранный порошок сплава подвергается просеивающей обработке.

[0075] Кроме того, размер частиц порошка сплава, подлежащего плазменной сфероидизации, колеблется от 5 мкм до 200 мкм.

[0076] Дополнительная информация: размер частиц порошка сплава, подлежащего плазменной сфероидизации, колеблется от 5 мкм до 100 мкм.

[0077] Настоящее изобретение также относится к способу получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, который получают на следующих стадиях:

[0078] плавление исходного расплава сплава с основным элементным составом $M_{a_0}A_{b_0}T_{c_0}$, где как М, так и А содержат один или более металлических элементов, Т – примесный элемент, включающий кислород, a_0 , b_0 и c_0 представляют собой атомное процентное содержание соответствующего элемента, $a_0+b_0+c_0=100\%$, $0<c_0\leq 15\%$; М и А содержат пару или пары комбинаций элементов M^1-A^1 , которые не будут образовывать соответствующие интерметаллические соединения, где M^1 представляет любой отдельный элемент в М, а A^1 представляет любой отдельный элемент в А, и основные элементы в М состоят из каждого элемента M^1 , удовлетворяющего условиям комбинирования M^1-A^1 , и основные элементы в А состоят из каждого элемента A^1 , удовлетворяющего условиям комбинирования M^1-A^1 ,

[0079] переход исходного расплава сплава $M_{a_0}A_{b_0}T_{c_0}$ в твердое состояние, таким образом, получение дисперсной фазы частиц $M_{a_1}A_{b_1}T_{c_1}$, эндогенно осажденной из расплава, и матричной фазы $A_{b_2}T_{c_2}$, охватывающей дисперсные частицы, которые представляют собой металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, и $0<c_1<c_0<c_2$, то есть содержание элемента Т в исходном расплаве сплава $M_{a_0}A_{b_0}T_{c_0}$ выше, чем в дисперсной фазе частиц $M_{a_1}A_{b_1}T_{c_1}$, но ниже, чем в матричной фазе $A_{b_2}T_{c_2}$.

[0080] Способы отвердевания исходного расплава сплава включают обычное литье, непрерывное литье, прядение из расплава и извлечение из расплава. Размер частиц эндогенного порошка сплава зависит от скорости отвердевания исходного расплава сплава. В общем, размер частиц эндогенного порошка сплава отрицательно коррелирует со скоростью отвердевания исходного расплава сплава, то есть, чем больше скорость отвердевания исходного расплава сплава, тем меньше размер частиц эндогенного порошка сплава.

[0081] Кроме того, способ отвердевания исходного расплава сплава не включает способ отвердевания, соответствующего технологии распыления;

[0082] Дополнительная информация: скорость отвердевания исходного расплава сплава колеблется от 0,001К/с до 108 К/с.;

[0083] Кроме того, диапазон скорости затвердевания исходного расплава сплава включает от 0,001К/с до 107 К/с.;

[0084] Кроме того, диапазон размеров частиц эндогенного порошка сплава включает от 3 нм до 10 мм.

[0085] Кроме того, не указана форма частиц эндогенного порошка сплава, которая может включать, по меньшей мере, одну из дендритных форм, сферическую форму, субсферическую форму, квадратную форму, округлую форму и форму стержня; в случае частиц в форме стержня размер частиц связан с диаметром поперечного сечения стержня.

[0086] Форма металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, связана со способом отвердевания: в случае непрерывного литья его форма в основном имеет форму планки; в случае формования из расплава его форма в основном имеет форму ленты или листа; в случае извлечения из расплава, его форма в основном имеет форму проволоки. Чем выше скорость отвердевания, тем тоньше, меньше и уже поперечное сечение металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала; и наоборот, тем толще, больше и шире поперечное сечение;

[0087] Кроме того, форма металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, не связана с порошком продукта, соответствующего технологии распыления.

[0088] Кроме того, когда исходный расплав сплава отвердевает с помощью средств, включающих извлечение расплава, и скорость отвердевания составляет 100 К/с~107 К/с, может быть получена лента металлического материала, состоящая из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала толщиной 10 мкм~ 5 мм, размер частиц содержащегося эндогенного порошка сплава составляет от 200 мкм до 10 мм.

[0089] Кроме того, когда исходный расплав сплава отвердевает с помощью средств, включающих обычное литье или непрерывное литье, и скорость отвердевания составляет 0,001К/с~100 К/с, может быть получен металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала в форме блока, у которого, по меньшей мере, один размер согласно трехмерной шкале превышает 5 мм, а размер частиц содержащегося эндогенного порошка сплава составляет от 200 мкм до 10 мм.

[0090] Дополнительная информация: кроме того, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, имеет форму ленты, толщина которой составляет 5 мкм~ 5 мм;

[0091] Кроме того, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, имеет форму ленты, толщина которой составляет 10 мкм~1 мм;

[0092] Кроме того, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка

сплава и охватывающего материала, имеет форму ленты, толщина которой составляет 10 мкм~500 мкм;

[0093] Кроме того, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, имеет форму ленты, толщина которой составляет 10 мкм~100 мкм;

[0094] Кроме того, нижний предел объемного процентного содержания эндогенного порошка сплава в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, составляет 1%, а верхний предел представляет собой объемное процентное содержание, при котором эндогенный порошок сплава может быть дисперсно распределен в охватывающем материале.

[0095] Предпочтительно, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, составляет от 5% до 50%;

[0096] Дополнительно предпочтительно, чтобы объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, составляло от 5% до 40%; нижний предел обеспечивает экономичность, а верхний предел полностью обеспечивает дисперсное распределение эндогенного порошка сплава в охватывающем материале.

[0097] Предпочтительно, чтобы количество монокристаллических частиц эндогенного порошка сплава составляло не менее 60% от общего количества частиц.

[0098] Кроме того, предпочтительно, чтобы количество монокристаллических частиц эндогенного порошка сплава составляло не менее 75% от общего количества частиц.

[0099] Кроме того, предпочтительно, чтобы количество монокристаллических частиц эндогенного порошка сплава составляло не менее 90% от общего количества частиц.

[00100] Кроме того, температура плавления эндогенного порошка сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ выше, чем у охватывающего материала $A_{b2}T_{c2}$; когда такое условие выполняется, матричная фаза исходного сплава отвердевает последней и охватывает эндогенный порошок сплава.

[00101] Кроме того, эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ содержит элемент А в твердом растворе, то есть $0 < b_1$.

[00102] Предпочтительно $0 < b_1 \leq 15\%$; то есть до 15% элемента А (в атомном процентном содержании) может быть полностью растворено в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$. Растворимость А в твердом состоянии в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ варьируется в зависимости от различных составов основных элементов, содержания примесей и скорости отвердевания конкретного расплава сплава. В общем,

если скорость отвердевания расплава относительно высока, а эндогенный порошок сплава относительно невелик, например, нанопорошок, большее количество элемента А может быть растворено в твердом состоянии.

[00103] Дополнительная информация: кроме того, $0,01\% < b_1 \leq 15\%$; кроме того, $0,05\% < b_1 \leq 15\%$; кроме того, $0,1\% < b_1 \leq 15\%$;

[00104] Кроме того, Т представляет собой совокупность примесных элементов О, Н, N, Р, S, F и Cl, и Т включает О и $0 < c_1 \leq 1,5\%$.

[00105] Кроме того, Т представляет собой совокупность элементов О, Н, N, Р, S, F и Cl, и Т включает О, все из которых являются неметаллическими элементами со сходными свойствами. В настоящем изобретении обнаружено, что элемент Т в исходном расплаве сплава оказывает значительное термодинамическое воздействие на диффузию и фазовое распределение элементов А, М и Т в матричной фазе и фазе дисперсных частиц во время процесса отвердевания исходного расплава сплава; благодаря таким термодинамическим эффектам, когда содержание Т является относительно высоким, большее количество элемента может быть полностью растворено в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$. Возможная причина заключается в том, что элементы А, М и Т в исходном расплаве сплава вначале равномерно перемешаны, и в процессе охлаждения и отвердевания исходного расплава сплава фаза дисперсных частиц с основным составом М сначала выпадает в осадок из расплава. В процессе осаждения атомы элемента Т удаляются, и в ходе такого процесса могут образовываться некоторые пустоты, которые могут быть заполнены либо атомами элемента М, либо атомами элемента А; следовательно, при тех же условиях, чем выше содержание элемента Т, тем больше пустот, которые могут быть заполнены, и тем больше содержание элемента А, полностью растворенного в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$. Следовательно, в дополнение к влиянию основного элементного состава исходного расплава сплава, на количество элемента А, твердо растворенного в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$, также влияют термодинамика и кинетика в процессе отвердевания исходного расплава сплава; с точки зрения термодинамики, когда содержание Т в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ высоко, большее количество элемента А может быть полностью растворено в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$; с точки зрения кинетики, в случае относительно высокой скорости отвердевания исходного расплава сплава и образования эндогенного порошка сплава меньшего размера, большее количество элемента А может быть полностью растворено в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$.

[00106] Кроме того, исходный расплав сплава $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$ получают путем плавления исходных материалов сплава, которые включают первый и второй исходные материалы;

основным элементным составом первого исходного материала является $M_{d1}T_{e1}$, а основным элементным составом второго исходного материала является $A_{d2}T_{e2}$, d_1 , e_1 , d_2 и e_2 представляют атомное процентное содержание соответствующих составляющих элементов, и $0 < e_1 \leq 10\%$, $0 < e_2 \leq 10\%$, $d_1 + e_1 = 100\%$, $d_2 + e_2 = 100\%$.

[00107] Предпочтительно, $0 < c_0 \leq 10\%$, $0 < e_1 \leq 7,5\%$, $0 < e_2 \leq 7,5\%$.

[00108] Кроме того, предпочтительно $0,01\% \leq c_0 \leq 10\%$, $0,01\% \leq e_1 \leq 7,5\%$, $0,01\% \leq e_2 \leq 7,5\%$.

[00109] Это указывает на то, что металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, содержащего целевой эндогенный порошок сплава высокой чистоты, может быть получен из сырья низкой чистоты.

[00110] Дополнительная информация: кроме того, во множестве примеров, касаемых металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, содержание примеси Т в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ значительно снижено по сравнению с таковым в исходном материале $M_{d1}T_{e1}$, то есть содержание примеси Т в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ ниже, чем содержание Т в материале $M_{d1}T_{e1}$, то есть c_1 меньше, чем e_1 .

[00111] Дополнительная информация: кроме того, во множестве примеров, касаемых металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ эквивалентно объемному процентному содержанию исходного материала $M_{d1}T_{e1}$ при приготовлении исходного материала; “быть эквивалентным” означает “быть близким к”. Следовательно, в соответствии с расчетным процентным объемным содержанием эндогенного порошка сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ в целевом металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, можно приблизительно рассчитать объемное процентное содержание исходного материала $M_{d1}T_{e1}$ и $A_{d2}T_{e2}$, необходимое для плавления исходного расплава сплава $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$; когда объемное процентное содержание исходного материала $M_{d1}T_{e1}$ и $A_{d2}T_{e2}$ определено, относительное отношение a_0 к b_0 может быть рассчитано по атомному весу и плотности каждого элемента.

[00112] Следует отметить, что примесные элементы, такие как О в атмосфере, могут попадать в расплав во время процесса плавления, могут быть случаи, когда $c_0 > e_1$, $c_0 > e_2$, то есть содержание примесей в порошке исходного сплава $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$ увеличивается по сравнению с общим содержанием примесей в исходном сплаве.

[00113] Дополнительная информация: в то же время, в процессе плавления исходного расплава сплава часть элемента Т может вступать в реакцию с М или А с образованием небольшого количества шлака, плавающего на поверхности расплава. Поскольку шлак

обычно твердый и не относится к исходному расплаву сплава, содержание элемента Т в исходном расплаве сплава также может составлять $c_0 < e_1$, $c_0 < e_2$, то есть содержание примесей в порошке исходного сплава $M_aO A_bO T_cO$ уменьшается по сравнению с общим содержанием примесей в сырье сплава.

[00114] Настоящее изобретение также относится к способу получения порошка сплава, который отличается тем, что порошок сплава получают путем удаления части охватывающего материала из металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, при сохранении эндогенного порошка сплава, который не может быть удален одновременно.

[00115] Кроме того, способы удаления охватывающего материала с сохранением эндогенного порошка сплава включают, по меньшей мере, одну из реакций растворения в кислотном растворе для удаления, реакцию растворения в щелочном растворе для удаления, вакуумного испарения для удаления и удаления охватывающего материала естественным окислением-измельчением в порошок.

[00116] В случае удаления реакцией с кислотным раствором следует выбрать соответствующий тип кислоты и концентрацию, стандартом которых является обеспечение того, чтобы охватывающий материал $A_{b_2}T_{c_2}$ превращался в ионы и растворялся в растворе, в то время как эндогенный порошок сплава $M_{a_1}A_{b_1}T_{c_1}$ почти не реагировал с соответствующей кислотой, чтобы добиться удаления охватывающего материала.

[00117] Кроме того, кислотный раствор дегазируют таким образом, чтобы он имел более низкое содержание растворенного кислорода и азота.

[00118] В случае удаления реакцией со щелочным раствором следует выбрать соответствующий тип щелочи и концентрацию, стандартом которых является обеспечение того, чтобы охватывающий материал $A_{b_2}T_{c_2}$ превращался в ионы и растворялся в растворе, в то время как эндогенный порошок сплава $M_{a_1}A_{b_1}T_{c_1}$ почти не реагировал с соответствующей щелочью, чтобы добиться удаления охватывающего материала.

[00119] Кроме того, раствор щелочи дегазируют таким образом, чтобы он имел более низкое содержание растворенного кислорода и азота.

[00120] В случае удаления путем вакуумного испарения следует выбрать соответствующую степень вакуума и температурный режим, стандарт которых заключается в обеспечении испарения охватывающего материала $A_{b_2}T_{c_2}$ с низкой температурой плавления, в то время как эндогенный порошок сплава $M_{a_1}A_{b_1}T_{c_1}$ не испаряется, а сохраняется, чтобы обеспечить удаление охватывающего материала.

[00121] В случае, если охватывающий материал очень легко окисляется естественным

окислением-измельчением в порошок, окисленный и измельченный в порошок охватывающий материал может быть предварительно удален, а затем охватывающий материал может быть полностью удален другими способами.

[00122] Дополнительная информация: кроме того, в примере М включает Fe, а А включает La, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, представляет собой металлическую ленту, образованную эндогенным порошком сплава Fe и охватывающим материалом La, эндогенный порошок сплава Fe содержит элемент La в твердом растворе, посредством естественного окисления-измельчения в порошок охватывающего материала La эндогенный порошок сплава Fe предварительно отделяется от оксидного порошка матрицы La, затем на основе магнитных свойств порошка сплава Fe, магнитное поле используется для разделения порошка сплава Fe и оксидного порошка матрицы La.

[00123] Настоящее изобретение также относится к применению порошка сплава в порошковой металлургии, литье металлов под давлением, магнитных материалах и покрытиях.

[00124] Кроме того, порошок сплава с относительно большим размером частиц может быть применен в области порошковой металлургии и литья металлов под давлением; порошок сплава с относительно малым размером частиц (например, нано размера) может быть применен в области нанесения покрытий, главным образом, в качестве добавки для покрытия со специальными функциями.

[00125] Кроме того, если порошок сплава является порошком магнитомягкого сплава, его можно использовать в области магнитных материалов.

[00126] Настоящее изобретение также относится к применению порошка сферического или субсферического сплава в порошковой металлургии, литье металла под давлением и 3D-печати металлическим порошком.

[00127] Настоящее изобретение также относится к применению металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, в покрытиях и композиционных материалах.

[00128] Кроме того, это характеризуется тем, что выбирают металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала со средним размером частиц эндогенного порошка сплава менее 1000 нм, и удаляют его охватывающий материал; полученный порошок сплава смешивают с другими компонентами покрытий или композиционных материалов одновременно или сразу после удаления охватывающего материала, чтобы уменьшить содержание примесей, включая O, который вновь появляется на поверхности порошка сплава из-за воздействия на

поверхность порошка сплава; таким образом, могут быть получены покрытия или композиционные материалы с добавлением высокочистого, ультратонкого и высокоактивного порошка сплава, которые могут применяться в различных областях, включая антибактериальные покрытия, атмосферостойкие покрытия, камуфляжные покрытия, волнопоглощающие покрытия, износостойкие покрытия, антикоррозионные покрытия, и композиты на основе смол.

[00129] Кроме того, после удаления охватывающего материала процесс очистки и сушки порошка сплава, а также его смешивания с другими компонентами покрытий или композиционных материалов следует проводить в вакууме или защитной атмосфере.

[00130] Кроме того, после удаления охватывающего материала полученный порошок сплава следует смешать с другими компонентами покрытия или композиционными материалами в течение 20 минут.

[00131] Кроме того, предпочтительно, после удаления охватывающего материала, полученный порошок сплава следует смешать с другими компонентами покрытия или композиционными материалами в течение 5 минут.

[00132] Наибольшее преимущество технического решения, включенного в настоящее изобретение, заключается в том, что очистка и обработка твердым раствором порошка сплава достигаются в процессе формирования порошка сплава; и изобретение металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава высокой чистоты и охватывающего материала, открывает новые перспективы для подготовки, сохранения и применения порошка сплава высокой чистоты.

[00133] Дополнительная информация: хотя основная концепция селективной коррозии используется в принципе настоящего изобретения, она существенно отличается от селективной коррозии в способе обесшлавления в принципе. В частности, сплав-предшественник, выбранный в способе обесшлавления, должен представлять собой единственную аморфную фазу, или одну или несколько фаз интерметаллических соединений, или смесь одного или нескольких интерметаллических соединений и аморфных фаз. Перед реакцией обесшлавления атомы-мишени равномерно распределяются в различных фазах сплава в виде атомов (атомы-мишени не агрегируются с другими атомами-мишенями с образованием целевой фазы, независимо от того, находится ли она в фазе соединения металла или в аморфной фазе); после реакции обесшлавления активные атомы подвергаются коррозии и удаляются, атомы-мишени освобождаются и агрегируются вместе путем повторного диспергирования и перестановки, образуя нанопористую структуру. Следовательно, продуктом, получаемым методом обесшлавления, обычно являются нанопористые материалы, а не порошковые

материалы; и макроскопическая форма нанопористых материалов остается примерно неизменной до и после реакции обесплавления, то есть лента сплава остается нанопористой лентой после реакции обесплавления; и объемный сплав остается нанопористым материалом после реакции обесплавления (Обобщенное получение нанопористых металлов (Au, Pd, Pt, Ag и Cu) путем химического удаления примесей, J. PhysChemC. 113 (2009) 12629-12636). Только при применении ультразвукового метода или иным образом подготовленная нанопористая структура может быть дополнительно измельчена на рыхлые нанопористые фрагменты или наночастицы.

[00134] Благодаря специальному выбору пар компонентов сплава в настоящем изобретении сырье $M_{d1}T_{e1}$ и $A_{d2}T_{e2}$ нагревают выше температуры плавления двух исходных материалов, таким образом получая исходный расплав сплава $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$. В процессе отвердевания исходного расплава сплава фаза дисперсных частиц с основным элементным составом $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ будет осаждаться из расплава, а матричная фаза с основным элементным составом $A_{b2}T_{c2}$ будет отвердевать последней и охватывать фазу дисперсных частиц. Фазой дисперсных частиц, если скорость охлаждения достаточно высока, могут быть наночастицы, если немного ниже, ими могут быть субмикронные частицы, ниже, могут быть микронные частицы, и еще ниже, могут быть миллиметровые частицы. Следовательно, эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ в настоящем изобретении образуется в процессе отвердевания исходного расплава сплава, а не в процессе, таком как удаление кислотной реакцией. Последующее удаление заключается в простом удалении охватывающего материала для получения свободно диспергированных наночастиц сплава.

[00135] В частности, полезные эффекты настоящего изобретения в основном демонстрируются в следующих аспектах:

[00136] Во-первых, это является прорывом в получении высокочистого эндогенного порошка сплава с использованием сырья низкой чистоты и обеспечивает новый способ получения высокочистого металлического порошка из сырья низкой чистоты, что имеет положительное значение. Чистота эндогенного порошка сплава высокой чистоты повышается главным образом за счет следующих двух механизмов:

[00137] Эффект "поглощения" элемента А примесными элементами. Поскольку выбранный элемент А является элементом с низкой температурой плавления и высокой активностью по сравнению с элементом М, он обладает более сильным сродством к примесному элементу Т по сравнению с М, что приводит к тому, что примесный элемент Т либо попадает в матричную фазу, состоящую в основном из элемента А, и растворяется в твердом состоянии, либо образует шлак с элементом А в расплаве и может быть отделен от расплава сплава; например, если элемент А включает редкоземельный элемент или

кальций, которые обладают сильным сродством к кислороду, этот процесс может быть осуществлен.

[00138] В процессе образования и роста эндогенного порошка сплава (эндогенно осажденной фазы дисперсных частиц) примесный элемент будет удален в оставшийся расплав. До тех пор, пока эндогенный порошок сплава выпадает в осадок не позже матричной фазы в процессе отвердевания, примеси будут обогащаться в расплаве, затвердевшем в конце, то есть расплав в основном состоит из элемента А и отвердевает в матричную фазу.

[00139] Во-вторых, в процессе образования, роста и очистки эндогенного порошка сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ достигается легирование элемента А твердым раствором, который не может образовывать интерметаллические соединения с М, и легирование элемента А твердым раствором приводит к положительному эффекту.

[00140] Согласно предыдущим исследованиям, значительное содержание А часто находится в твердом состоянии в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$, приготовленном из сырья, содержащего большое количество примесного элемента. Растворимость А в твердом состоянии в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ варьируется в зависимости от различных составов основных элементов, содержания примесей и скорости отвердевания конкретного расплава сплава. Для конкретного расплава сплава М-А-Т, в общем, если содержание Т и скорость отвердевания расплава высоки, и может образовываться мелкий эндогенный порошок сплава, такой как нанопорошок, большее количество элемента А может быть полностью растворено в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$. Твердый раствор элемента А в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ придает эндогенному порошку сплава некоторые свойства порошка, легирующего твердый раствор, что имеет положительное значение.

[00141] Следует отметить, что легирование элемента А твердым раствором в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ является результатом соответствующего исходного расплава сплава, содержащего достаточное количество элемента А (большая часть оставшегося элемента А образует матричную фазу $A_{b2}T_{c2}$), что полностью отличается от случая непосредственного добавления небольшого количества элемента от А до М для получения сплава М-А. Например, в промышленности к металлическому Тi добавляют небольшое количество Y (например, 0,3 мас.%) (примечание: соответствующее атомное процентное содержание Y составляет 0,16 ат.%) для повышения прочности и пластичности сплава Тi-Y. Механизм заключается в том, что небольшое количество Y, добавляемое в металлический Тi, обычно соединяется с примесными элементами, такими как О, с

образованием оксида Y_2O_3 . Y_2O_3 может быть использован в качестве частицы для гетерогенного образования зародышей для увеличения скорости образования зародышей, чтобы в процессе отвердевания металла Ti можно было получать более мелкие зерна, чтобы повысить прочность и пластичность металла Ti за счет принципа измельчения зерен.

[00142] Такая обработка легированием не является стандартным легированием в строгом смысле, поскольку небольшое количество Y, добавляемое к не совсем чистому металлу Ti, существует в виде оксида Y_2O_3 . Настоящее изобретение позволяет получать расплав сплава Ti-Y-T путем плавления сырья Ti, содержащего примесь T, и сырья Y, содержащего примесь T, что позволяет получать эндогенный порошок сплава Ti-Y-T с небольшим количеством Y, полностью растворенного в отвердевшем расплаве сплава, где Y является стандартным легирующим элементом для легирования твердым раствором. Это различие придает эндогенному порошку сплава Ti-Y-T значительно иные и полезные эффекты при использовании. Например, после процесса удаления матричной фазы охватывающего материала и обработки сфероидизацией готовый микронный порошок из сплава Ti-Y-T используется в области 3D-печати металлов, в процессе лазерного переплава порошка элемент Y, полностью растворенный в порошке сплава Ti-Y-T, может поглощать элемент O на поверхности порошка сплава Ti-Y-T (который вводится в процессе удаления матричной фазы охватывающего материала и сфероидизации) и, таким образом, образовывать оксид Y_2O_3 .

[00143] Принимая оксид Y_2O_3 в качестве частицы для гетерогенного образования, размер зерен в сплаве Ti-Y-T после лазерного переплава и отвердевания может быть значительно оптимизирован, тем самым повышая прочность и пластичность устройств 3D-печати.

[00144] В то время как для исходного порошка Ti-Y, получаемого методом атомизационного измельчения, Y в порошке Ti-Y соединяется с O с образованием оксида Y_2O_3 , но новый O вводится в порошок Ti-Y во время процесса атомизационного измельчения, так что "свободный" Y не может быть дополнительно соединен с O в процессе лазерного переплава порошка Ti-Y; или для достижения этой цели необходимо добавить больше Y в исходный порошок сплава Ti-Y, чтобы в дополнение к образованию оксида Y_2O_3 несколько других "свободных" Y могли быть полностью растворены в порошке сплава Ti-Y. Нет сомнений в том, что такой исходный порошок обладает худшими свойствами, чем у настоящего порошка из сплава Ti-Y-T, который только в твердом состоянии растворяется с элементом Y.

[00145] В-третьих, может быть получен порошок сплава, состоящий в основном из

монокристаллических частиц. По сравнению с поликристаллическим порошком, монокристаллический порошок обладает многими значительными и полезными эффектами. В процессе отвердевания исходного расплава сплава каждая эндогенная частица образует зародыши из определенного положения в расплаве и растет в соответствии с определенным расположением атомов. Контролируя объемное процентное содержание матричной фазы и гарантируя, что каждая эндогенная частица распределена дисперсно, эндогенную частицу трудно объединить и вырастить. Следовательно, полученная дисперсно распределенная фаза эндогенных частиц представляет собой в основном монокристаллическую фазу. Даже для частиц дендрита с размером до десятков микрон направление роста каждого вторичного дендрита сохраняет определенную позиционную связь с направлением роста основного дендрита, и они по-прежнему принадлежат к монокристаллическим частицам.

[00146] Для поликристаллических материалов границы их зерен, как правило, содержат примесные элементы, удаляемые из кристаллов в процессе отвердевания, поэтому трудно получить поликристаллические порошковые материалы высокой чистоты. Когда порошковый материал в основном состоит из монокристаллических частиц, его чистота может быть гарантирована. Кроме того, атомы на поверхности монокристаллической частицы имеют специфическое расположение, такое как (111)-гранное расположение, которое придает материалу особые механические, физические и химические характеристики, приводящие к благоприятным эффектам.

[00147] В-четвертых, для металлического материала, состоящего из эндогенного порошка и охватывающего материала, изобретательно используется сформированный *in situ* охватывающий материал для охватывания эндогенного порошка сплава, таким образом поддерживая высокую чистоту и активность эндогенного порошка сплава. Порошки металлов или сплавов, полученные традиционным химическим или физическим способом, особенно нанопорошки с чрезвычайно большой удельной поверхностью, легко окисляются естественным путем, и поэтому трудно сохранить порошок. Чтобы решить эту проблему, после приготовления металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, охватывающий материал не удаляют немедленно, и впоследствии эндогенный порошок сплава пытаются защитить другими способами от загрязнения примесями, такими как кислород, но непосредственно используют охватывающий материал для защиты эндогенного порошка от естественного окисления. Такой металлический материал, состоящий из эндогенного порошка и охватывающего материала, может быть непосредственно использован в качестве сырья для последующего производства. Когда эндогенный порошок необходим для

последующего производства, исходя из характеристик следующей рабочей процедуры, эндогенные порошки высвобождаются из охватывающего материала в надлежащих условиях в надлежащее время, а затем подаются в следующий производственный процесс за возможно короткое время, тем самым значительно снижая вероятность загрязнения эндогенных порошков кислородом и другими примесями. Например, когда эндогенные порошки сплавов представляют собой нанопорошок, эндогенный порошок сплава смешивают со смолой при извлечении из охватывающего материала или сразу после этого, чтобы получить композиционный материал на основе смолы с добавлением высокоактивных эндогенных порошков сплавов.

[00148] В-пятых, регулируя скорость отвердевания исходного расплава сплава, можно получить эндогенный порошок сплава с различными и непрерывными размерами частиц, включая порошок наноразмера, субмикронный порошок, микронный порошок и даже миллиметровый порошок. По сравнению с традиционными физическими или химическими способами, использующими стратегию "сверху вниз" (дробление массы на мелкие частицы) или "снизу вверх" (агрегирование атомов в крупные частицы), "способ осаждения и дефазировки первичных кристаллических частиц" в настоящем изобретении представляет собой новый способ получения порошковых материалов с частицей от нано до миллиметрового размера.

[00149] Дополнительная информация: в области получения порошковых материалов легко получать наночастицы размером в несколько нанометров или десятков нанометров с помощью подхода "снизу вверх" (такого как восстановление ионами) в атомном или ионном масштабе; и легко получать микронные частицы размером в десятки микрон с помощью метода "сверху вниз" (например, дробление шаровой мельницей). Однако трудно получить порошкообразные материалы размером 1 мкм либо методом "снизу вверх", либо методом "сверху вниз". Потому что трудно агломерировать атомы до уровня 1 мкм при подходе снизу вверх, а также чрезвычайно трудно измельчить сыпучий материал до уровня 1 мкм при подходе сверху вниз. Традиционный способ получения порошкообразного материала подходит только для определенного диапазона размеров частиц. Например, получение наночастиц размером менее 100 нм методом ионного восстановления и получение микронных частиц размером более 10 мкм методом атомизационного измельчения. Однако способ, используемый в настоящем изобретении, подходит для приготовления порошкового материала размером от нескольких нанометров до нескольких миллиметров, для этого просто необходимо контролировать скорость затвердевания исходного расплава сплава, что прекрасно решает трудность приготовления порошкового материала с размером частиц около 1 мкм.

[00150] В частности, настоящее изобретение особенно подходит для крупномасштабного и недорогого получения некоторых специальных металлических нанопорошков (таких как нанопорошок Ti). Из-за специфичности элемента Ti его трудно или невозможно получить химическим восстановлением, подобно получению наноразмерных Ag или Cu путем химического восстановления Ag^+ и Cu^{2+} . Как правило, нанопорошок Ti может быть получен только небольшими партиями физическими методами, такими как метод взрыва, который чрезвычайно дорог. Несмотря на то, что нанопорошок Ti очень полезен, стоимость в тысячи юаней за килограмм сильно ограничивает его промышленное применение. Настоящее изобретение изобретательно решает проблему крупномасштабного и недорогого получения высокочистого и твердотеллегированного нанопорошка Ti с использованием сырья низкой чистоты, которое имеет огромную ценность.

[00151] В-шестых, дополнительная информация: благодаря тщательному проектированию комбинации элементов A-M, использованию сырья A и M низкой чистоты и использованию термодинамического эффекта элемента T (O, H, N, P, S, F и Cl), особенно важного элемента O, на основе закона диффузии и фазового распределения элементов A, M и T в процессе отвердевания исходного расплава сплава M-A-T достигается очистка T в эндогенном порошке сплава M-A-T, и содержание твердого раствора A в эндогенном порошке сплава M-A-T также улучшается и достигается.

[00152] В-седьмых, дополнительная информация: M и A, описанные в настоящем изобретении, содержат пару или пары комбинаций элементов M^1-A^1 , которые не образуют интерметаллических соединений, для удовлетворения этого ключевого требования следует тщательно продумать выбор состава сплава. Затвердевшая структура комбинации элементов M^1-A^1 не образует интерметаллических соединений M^1-A^1 ; A включает по меньшей мере одно из Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Mg, Ca, Li, Na, K, In, Pb, Zn и Cu; хотя вышеперечисленных элементов, по-видимому, много, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb и Lu - все они являются редкоземельными элементами. Если редкоземельные элементы представлены RE, то A включает только по меньшей мере один из RE, Mg, Ca, Li, Na, K, In, Pb, Zn и Cu; среди них RE, Mg, Ca, Li, Na, K, In, Pb и Zn являются металлическими элементами, которые чрезвычайно активны, или характеризуются низкой температурой плавления, или чрезвычайно мягки, которые нельзя использовать для приготовления сплава с другими элементами для повышения прочности или коррозионной стойкости (сплав, образованный M и A, не может достичь этого эффекта, где A – охватывающий материал) и редко применяются в промышленности, что является непопулярными элементами для

академических исследований и промышленного применения. Cu редко сплавляют с редкими благородными металлами, такими как Ir, Ru, Re, Os и Tc, и даже если его сплавляют с W, Cr, Mo, V, Ta и Nb, обычно используют метод порошковой металлургии, смешивая порошок Cu с порошком W, Cr, Mo, V, Ta или Nb, и спекание для получения соответствующих материалов. Следовательно, комбинации элементов M^1-A^1 , выбранные в соответствии с настоящим изобретением, являются непопулярными комбинациями элементов, редко используемыми в научных кругах и промышленности. Однако в настоящем изобретении найден новый способ превратить недостатки вышеуказанных непопулярных комбинаций элементов в преимущества и применить их в области получения порошковых материалов, что является большим изобретательским потенциалом.

[00153] В настоящем изобретении умело использованы характеристики вышеуказанных непопулярных комбинаций элементов и успешно достигнуто получение металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, путем использования разделения A и M в процессе отвердевания сплава, и что первичная кристаллическая частица, состоящая в основном из M, осаждается первой, а матричная фаза, состоящая в основном из A, осаждается позже. Такие элементы, как RE, Mg, Ca, Li, Na, K, In, Pb и Zn, являются чрезвычайно активными, или характеризуются низкой температурой плавления, или чрезвычайно мягкими, что обеспечивает удобство при извлечении охватывающего материала, состоящего в основном из этих элементов. Следовательно, получение порошка определенной категории сплавов с использованием непопулярных комбинаций элементов имеет положительное значение.

[00154] Следовательно, в настоящем изобретении используются сырьевые материалы низкой чистоты и сочетаются несколько полезных технических схем, таких как получение порошка монокристаллического сплава, очистка и сохранение порошка сплава и сплавление порошка твердым раствором. И настоящее раскрытие облегчило получение порошка сплава в твердом растворе высокой чистоты нано, субмикронного, микронного и миллиметрового размеров, который имеет хорошие перспективы применения в катализе, порошковой металлургии, композиционных материалах, магнитных материалах, стерилизации, литье металла под давлением, 3D-печати металлическим порошком, покрытиях и композитных материалах.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[00155] На фиг. 1 показан СЭМ локального обратного рассеяния эндогенного нанопорошка сплава Ti и охватывающего материала Gd в примере 3 настоящего изобретения;

[00156] На фиг. 2 показан СЭМ нанопорошка сплава Ti в примере 3 настоящего изобретения;

[00157] На фиг. 3 показан СЭМ локального обратного рассеяния эндогенного дендритного порошка сплава Ti-Co и охватывающего материала Gd в примере 6 настоящего раскрытия;

[00158] На фиг. 4 показан СЭМ порошка дендритного сплава Ti-Co в примере 6 настоящего изобретения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[00159] Настоящее изобретение подробно описано ниже вместе с примерами. Следует отметить, что приведенные ниже примеры предназначены для облегчения понимания настоящего изобретения и никоим образом не ограничивают настоящее изобретение.

[00160] Пример 1

[00161] В этом примере представлена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Ti и охватывающего материала Ce, нанопорошка сплава Ti, а также способ их получения и применения, который включает следующие этапы:

[00162] Выбран титан низкой чистоты, включающий Cl, N, O и H с массовым процентным содержанием 0,3 мас.%, 0,1 мас.%, 0,3 мас.% и 0,03 мас.% соответственно. После перевода в атомное процентное содержание атомное процентное содержание Cl, N, O и H составляет 0,4 ат.%, 0,33 ат.%, 0,88 ат.% и 1,39 ат.% соответственно, то есть их общее содержание составляет 3 ат.%. Выбирают редкоземельный Ce низкой чистоты, который содержит 0,3 мас.% O. После перевода в атомное процентное содержание O в Ce составляет 2,57 ат.%. Поскольку Ti-Ce является парой элементов, которая не образует интерметаллического соединения, а температура плавления Ti выше, чем у Ce, то порошок сплава Ti может быть получен на основе пары элементов Ti-Ce.

[00163] Сырье низкой чистоты Ti и Ce с объемным соотношением 1:3 смешивают, и другие микроэлементы, которые могут присутствовать в сырье, классифицируют как основной элемент для облегчения расчета. Согласно данным о плотности элементов и атомном весе, состав сырья для сплава может быть выражен как $(Ti_{97}Cl_{0,4}N_{0,33}O_{0,88}H_{1,39})_{39}(Ce_{97,43}O_{2,57})_{61}$ в пересчете на атомное процентное содержание, которое дополнительно может быть выражено как $Ti_{37,83}Ce_{59,435}Cl_{0,156}N_{0,129}H_{0,54}O_{1,91}$, в котором общее содержание примесного элемента T, такого как Cl, N, H и O, составляет около 2,735 ат.%.

[00164] Сырье из сплава низкой чистоты расплавляют индукционным способом, и получают исходный расплав сплава с составом $Ti_{37,83}Ce_{59,435}T_{2,735}$ (где T представляет примесные элементы, такие как Cl, N, H и O). Некоторые примесные элементы в исходном

расплаве сплава могут превращаться в шлак и отделяться от расплава, что приводит к уменьшению содержания примесей; и некоторые примеси из окружающей среды и атмосферы, такие как кислород, могут попадать в расплав, увеличивая содержание примесей.

[00165] Исходный расплав сплава отвердевает в виде лент толщиной около 100 мкм путем прокатки медным роликом. В процессе отвердевания фаза дисперсных частиц, состоящая в основном из Ti, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Ce, таким образом, может быть получена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Ti и охватывающего материала Ce. При этом атомный процентный состав порошка эндогенного сплава Ti составляет около $Ti_{99.1}Ce_{0.5}T_{0.4}$, который в основном состоит из монокристаллических частиц с размером частиц в диапазоне от 3 нм до 300 нм. Небольшое количество Ce полностью растворяется в эндогенном порошке сплава Ti, и содержание примеси T значительно снижается по сравнению с сырьем Ti низкой чистоты, а большое количество примеси T обогащается охватывающим материалом Ce. В готовой металлической ленте, состоящей из эндогенного нанопорошка сплава Ti и охватывающего материала Ce, объемное процентное содержание порошка эндогенного сплава Ti эквивалентно объемному процентному содержанию сырья Ti при приготовлении сырья, которое составляет около 25% по объему, что обеспечивает дисперсное распределение порошка сплава Ti в матричной фазе, состоящей в основном из Ce.

[00166] Охватывающий материал Ce в металлической ленте состоит из эндогенного нанопорошка сплава Ti, и охватывающий материал Ce удаляется разбавленным раствором соляной кислоты. Поскольку порошок сплава Ti не вступает в реакцию с разбавленной соляной кислотой, после разделения, очистки и сушки может быть получен порошок сплава Ti-Ce-T. Из-за поглощения поверхностными атомами примесей, таких как кислород, после воздействия порошка сплава Ti-Ce-T содержание примеси T в полученном порошке сплава Ti-Ce-T выше, чем в эндогенном порошке сплава Ti-Ce-T.

[00167] Процесс по этапу (5) также может быть выполнен непосредственно после этапа (3):

[00168] Охватывающий материал Ce в металлической ленте, состоящей из эндогенного нанопорошка сплава Ti и охватывающего материала Ce удаляют разбавленным раствором дезоксигенированной соляной кислоты, затем порошок сплава Ti отделяют в защитной атмосфере и затем смешивают с эпоксидной смолой и другими компонентами покрытия в течение 20 минут, после чего может быть приготовлено антикоррозионное нанопокрывание из полимера, модифицированного титановым сплавом.

[00169] Пример 2

[00170] В этом примере представлен металлический лист, состоящий из эндогенного микронного порошка сплава Ti и охватывающего материала Ce, микронного порошка сплава Ti, а также способ их получения и применения, который включает следующие этапы:

[00171] Выбирается титан низкой чистоты, включающий Cl, N, O и H с массовым процентным содержанием 0,3 мас.%, 0,1 мас.%, 0,3 мас.% и 0,03 мас.% соответственно. После перевода в атомное процентное содержание атомное процентное содержание Cl, N, O и H составляет 0,4 ат.%, 0,33 ат.%, 0,88 ат.% и 1,39 ат.% соответственно, то есть их общее содержание составляет 3 ат.%. Выбирают редкоземельный Ce низкой чистоты, который содержит 0,3 мас.% O. После перевода в атомное процентное содержание O в Ce составляет 2,57 ат.%. Поскольку Ti-Ce является парой элементов, которая не образует интерметаллического соединения, а температура плавления Ti выше, чем у Ce, то порошок сплава Ti может быть получен на основе пары элементов Ti-Ce.

[00172] Сырье низкой чистоты Ti и Ce с объемным соотношением 1:3 смешивают, и другие микроэлементы, которые могут присутствовать в сырье, классифицируют как основной элемент для облегчения расчета. Согласно данным о плотности элементов и атомном весе, состав сырья для сплава может быть выражен как $(Ti_{97}Cl_{0,4}N_{0,33}O_{0,88}H_{1,39})_{39}(Ce_{97,43}O_{2,57})_{61}$ в пересчете на атомное процентное содержание, которое дополнительно может быть выражено как $Ti_{37,83}Ce_{59,435}Cl_{0,156}N_{0,129}H_{0,54}O_{1,91}$, в котором общее содержание примесного элемента T, такого как Cl, N, H и O, составляет около 2,735 ат.%.

[00173] Сырье из сплава низкой чистоты расплавляют индукционным способом, и получают исходный расплав сплава с составом $Ti_{37,83}Ce_{59,435}T_{2,735}$ (где T представляет собой примесные элементы, такие как Cl, N, H и O). Некоторые примесные элементы в исходном расплаве сплава могут превращаться в шлак и отделяться от расплава, что приводит к уменьшению содержания примесей; и некоторые примеси из окружающей среды и атмосферы, такие как кислород, могут попадать в расплав, увеличивая содержание примесей.

[00174] Исходный расплав сплава затвердевает в виде листа толщиной около 4 мм. В процессе затвердевания дисперсная фаза дендритных частиц, состоящая в основном из Ti, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Ce, таким образом, может быть получен металлический лист, состоящий из эндогенного микронного порошка сплава Ti и охватывающего материала Ce. При этом атомный процентный состав дендритного эндогенного порошка сплава Ti составляет $Ti_{99,4}Ce_{0,3}T_{0,3}$, который в основном состоит из монокристаллических частиц с размером частиц в диапазоне от 1 мкм до 150 мкм.

Небольшое количество Се полностью растворяется в эндогенном порошке сплава Ti, и содержание примеси T значительно снижается по сравнению с сырьем Ti низкой чистоты, а большое количество примеси T обогащается в охватывающем материале Се. В готовом металлическом листе, состоящем из эндогенного микронного порошка сплава Ti и охватывающего материала Се, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава Ti эквивалентно объемному процентному содержанию сырья Ti при приготовлении сырья, которое составляет около 25 об.%, что обеспечивает дисперсное распределение дендритного порошка сплава Ti в матричной фазе, состоящей в основном из Се.

[00175] Охватывающий материал Се в металлическом листе состоит из эндогенного микронного порошка сплава Ti, и охватывающий материал Се удаляется разбавленным раствором соляной кислоты. Поскольку дендритный порошок сплава Ti не вступает в реакцию с разбавленной соляной кислотой, после разделения, очистки и сушки может быть получен дендритный порошок сплава Ti-Се-T.

[00176] Дендритный порошок сплава Ti-Се-T обрабатывают струйной мельницей, и запутанные дендритные частицы диспергируются, и относительно крупные дендритные частицы могут быть измельчены на мелкие дендритные частицы.

[00177] Полученный дендритный порошок сплава Ti просеивают и выбирают дендритный порошок сплава Ti с размером частиц в диапазоне от 15 мкм до 53 мкм для плазменной сфероидизации, таким образом, можно получить сферический или субсферический порошок сплава Ti с почти неизменным размером частиц.

[00178] Сферический или субсферический порошок сплава Ti может быть применен в области 3D-печати металлическим порошком.

[00179] Пример 3

[00180] В этом примере представлена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Ti и охватывающего материала Gd, нанопорошка сплава Ti, и способ их получения, который включает следующие этапы:

[00181] Выбирают сырье Ti низкой чистоты и редкоземельное сырье, состоящее в основном из Gd. Содержание примеси T в двух видах сырья составляет около 3 ат.%. Поскольку Ti-Gd является парой элементов, которая не образует интерметаллического соединения, а температура плавления Ti выше, чем у Gd, то порошок сплава Ti может быть получен на основе пары элементов Ti-Gd.

[00182] Сырье низкой чистоты Ti и редкоземельное сырье, состоящее в основном из Gd с объемным соотношением 15:85, смешивают и расплавляют индукционным способом, таким образом, может быть получен исходный расплав сплава с составом $Ti_{24}Gd_{73}T_3$, в котором содержание T составляет около 3 ат.%.

[00183] Исходный расплав сплава затвердевает в виде ленты толщиной около 100 мкм путем прокатки медным роликом. В процессе отвредевания фаза дисперсных частиц, состоящая в основном из Ti, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Gd, таким образом, может быть получена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Ti и охватывающего материала Gd. Микроморфология металлической ленты показана на фигуре 1. При этом атомный процентный состав эндогенного порошка сплава Ti составляет около $Ti_{99.2}Gd_{0.5}T_{0.3}$, который в основном состоит из монокристаллических наночастиц Ti с небольшим количеством твердо растворенного Gd. Размер монокристаллических наночастиц Ti колеблется от 3 нм до 300 нм. Содержание примеси T значительно снижено по сравнению с сырьем Ti низкой чистоты, и большое количество примеси T обогащается в охватывающем материале Gd. В готовой металлической ленте, состоящей из эндогенного порошка сплава Ti и охватывающего материала Gd, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава Ti эквивалентно объемному процентному содержанию сырья Ti при приготовлении сырья, которое составляет около 15 об.%, что обеспечивает дисперсное распределение титанового порошка сплава в матричной фазе, состоящей в основном из Gd, как показано на фигуре 1.

[00184] Охватывающий материал Gd в металлической ленте состоит из эндогенного нанопорошка сплава Ti, и охватывающий материал Gd удаляется разбавленным раствором соляной кислоты. Поскольку порошок сплава Ti не вступает в реакцию с разбавленной соляной кислотой, после разделения, очистки и сушки может быть получен порошок сплава Ti-Gd-T, состоящий в основном из Ti, размер частиц которого колеблется от 3 нм до 300 нм, как показано на фигуре 2.

[00185] Пример 4

[00186] В этом примере представлена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Ti-Nb-V и охватывающего материала Ce-La-Nd-Pr, нанопорошка сплава Ti-Nb-V, и способ их получения, который включает следующие этапы:

[00187] Выбирают сырье низкой чистоты из Ti, Nb и V и редкоземельное сырье, состоящее в основном из Ce, La, Nd и Pr. Содержание примеси T в двух видах сырья составляет около 3 ат.%. Поскольку Ti-Ce, Ti-La, Ti-Nd, Ti-Pr, Nb-Ce, Nb-La, Nb-Nd, Nb-Pr, V-Ce, V-La, V-Nd и V-Pr являются парами элементов, которые не образуют интерметаллических соединений, и температура плавления Ti, Nb и V выше, чем у Ce, La, Nd и Pr, то порошок сплава Ti-Nb-V может быть получен на основе комбинаций этих элементов.

[00188] Сырье Ti, Nb и V низкой чистоты и редкоземельное сырье, состоящее в основном из Ce, La, Nd и Pr с объемным соотношением 1:2, смешивают, причем Ti, Nb и V

имеют равные молярные соотношения. Сырье для сплава расплавляется индукционным способом, и, таким образом, может быть получен исходный расплав сплава с составом (Ti-Nb-V)-(Ce-La-Nd-Pr)-Т, в котором содержание Т составляет около 3 ат.%.

[00189] Исходный расплав сплава отвердевает в виде ленты толщиной около 100 мкм путем прокатки медным роликом. В процессе отвердевания фаза дисперсных частиц, состоящая в основном из Ti-Nb-V, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Ce-La-Nd-Pr, таким образом, можно получить металлическую ленту, состоящую из эндогенного нанопорошка сплава Ti-Nb-V и охватывающего материала Ce-La-Nd-Pr. Где атомный процентный состав эндогенного порошка сплава Ti-Nb-V составляет около $(\text{Ti-Nb-V})_{99.2}(\text{Ce-La-Nd-Pr})_{0.5}\text{T}_{0.3}$, который в основном состоит из монокристаллических частиц Ti-Nb-V с максимальной взаимной растворимостью. Размер частиц монокристаллического Ti-Nb-V колеблется от 3 нм до 300 нм. Ce-La-Nd-Pr полностью растворяется в эндогенном порошке сплава Ti-Nb-V, и содержание примеси Т значительно снижается по сравнению с сырьем Ti, Nb и V низкой чистоты, и большое количество примеси Т обогащается в охватывающем материале Ce-La-Nd-Pr. В подготовленной металлической ленте, состоящей из эндогенного нанопорошка сплава Ti-Nb-V и охватывающего материала Ce-La-Nd-Pr, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава Ti-Nb-V эквивалентно объемному процентному содержанию сырья Ti, Nb и V при подготовке сырья, которое составляет около 33% по объему, что обеспечивает дисперсное распределение порошка сплава Ti-Nb-V в матричной фазе, состоящей в основном из Ce-La-Nd-Pr.

[00190] Охватывающий материал Ce-La-Nd-Pr в металлической ленте, состоящей из эндогенного нанопорошка сплава Ti-Nb-V и охватывающего материала Ce-La-Nd-Pr, удаляют разбавленным раствором соляной кислоты. Поскольку порошок сплава Ti-Nb-V не вступает в реакцию с разбавленной соляной кислотой, после разделения, очистки и сушки может быть получен порошок сплава Ti-Nb-V, состоящий в основном из (Ti-Nb-V)-(Ce-La-Nd-Pr)-Т. Из-за поглощения поверхностными атомами примесей, таких как кислород, после воздействия порошка сплава Ti-Nb-V содержание примеси Т в готовом порошке сплава Ti-Nb-V выше, чем в эндогенном порошке сплава Ti-Nb-V.

[00191] Пример 5

[00192] В этом примере представлена металлическая лента, состоящая из эндогенного субмикронного порошка сплава Ti-Co и охватывающего материала Ce-La-Nd-Pr, субмикронного порошка сплава Ti-Co, и способ их получения, который включает следующие этапы:

[00193] Выбирают сырье Ti и Co низкой чистоты и редкоземельное сырье, состоящее в

основном из Ce, La, Nd и Pr, при этом молярное соотношение сырья из Ti и Co составляет 1:1. Содержание примеси T в двух видах сырья составляет около 3 ат.%. Поскольку Ti-Ce, Ti-La, Ti-Nd и Ti-Pr являются парами элементов, которые не образуют интерметаллических соединений, а Ti составляет 50% сырья Ti-Co, являясь основным элементом, и температура плавления интерметаллического соединения CoTi достигает 1700 °C, что намного выше температуры плавления интерметаллических соединений, которые могут быть образованы Co и Ce, La, Nd и Pr, когда Co:Ti составляет 1:1, Co в основном соединяется с Ti с образованием интерметаллида CoTi. Следовательно, порошок сплава интерметаллического соединения CoTi может быть получен на основе этих пар комбинаций элементов.

[00194] Сырье Ti и Co низкой чистоты и редкоземельное сырье, состоящее в основном из Ce, La, Nd и Pr, смешивают с объемным соотношением 1:2, где Co:Ti составляет 1:1. Сырье для сплава расплавляется индукционным способом, и, таким образом, может быть получен исходный расплав сплава с составом (Ti-Co)-(Ce-La-Nd-Pr)-T, в котором содержание T составляет около 3 ат.%.

[00195] Исходный расплав сплава отвердевает в виде ленты толщиной около 300 мкм путем прокатки медным роликом. В процессе отвердевания фаза дисперсных частиц, состоящая в основном из субмикронного Ti-Co, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Ce-La-Nd-Pr, таким образом, может быть получена металлическая лента, состоящая из эндогенного субмикронного порошка сплава Ti-Co и охватывающего материала Ce-La-Nd-Pr. Где атомный процентный состав эндогенного порошка сплава Ti-Co составляет $(\text{Ti-Co})_{99}(\text{Ce-La-Nd-Pr})_{0.6}\text{T}_{0.4}$, который в основном состоит из монокристаллических частиц интерметаллического соединения Ti-Co с размером частиц в диапазоне от 20 нм до 1 мкм. Ce-La-Nd-Pr полностью растворяется в эндогенном порошке сплава Ti-Co, и содержание примеси T значительно снижается по сравнению с сырьем Ti и Co низкой чистоты, а большое количество примеси T обогащается в охватывающем материале Ce-La-Nd-Pr. В готовой металлической ленте, состоящей из эндогенного субмикронного порошка сплава Ti-Co и охватывающего материала Ce-La-Nd-Pr, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава Ti-Co эквивалентно объемному процентному содержанию исходных материалов Ti и Co при подготовке сырья, которое составляет около 33 об%, что обеспечивает дисперсное распределение порошка сплава Ti-Co в матричной фазе, состоящей в основном из Ce-La-Nd-Pr.

[00196] Охватывающий материал Ce-La-Nd-Pr в металлической ленте состоит из эндогенного субмикронного порошка сплава Ti-Co, а охватывающий материал Ce-La-Nd-Pr удаляется разбавленным раствором соляной кислоты. Поскольку порошок сплава Ti-Co

не вступает в реакцию с разбавленной соляной кислотой, после разделения, очистки и сушки может быть получен порошок сплава Ti-Co, состоящий в основном из (Ti-Co)-(Ce-La-Nd-Pr)-T. Из-за поглощения поверхностными атомами примесей, таких как кислород, после воздействия порошка сплава Ti-Co содержание примеси T в готовом порошке сплава Ti-Co выше, чем в эндогенном порошке сплава Ti-Co.

[00197] Пример 6

[00198] В этом примере представлен металлический лист, состоящий из эндогенного микронного порошка сплава Ti-Co и охватывающего материала Gd, микронного порошка сплава Ti-Co, и способ их получения, который включает следующие этапы:

[00199] Выбирают сырье из Ti и Co низкой чистоты и редкоземельное сырье, состоящее в основном из Gd, при этом молярное соотношение сырья из Ti и Co составляет 1:1. Содержание примеси T в двух видах сырья составляет около 3 ат.%. Поскольку Ti-Gd является парой элементов, которая не образует интерметаллических соединений, а Ti составляет 50% сырья Ti-Co, являясь основным элементом, и температура плавления интерметаллического соединения CoTi достигает 1700 °C, что намного выше температуры плавления интерметаллических соединений, которые могут образовываться с помощью Co и Gd, когда Co:Ti составляет 1:1, Co в основном соединяется с Ti, образуя интерметаллическое соединение CoTi с высокой температурой плавления. Следовательно, порошок сплава интерметаллического соединения CoTi может быть получен на основе этих пар комбинаций элементов.

[00200] Сырье Ti и Co низкой чистоты и редкоземельное сырье, состоящее в основном из Gd с объемным соотношением 30:70, смешивают, при этом Co:Ti составляет 1:1. Сырье для сплава расплавляется индукционным способом, и, таким образом, может быть получен исходный расплав сплава с составом (Ti-Co)-Gd-T, в котором содержание T составляет около 3 ат.%.

[00201] Исходный расплав сплава отвердевает в виде листа толщиной около 2 мм. В процессе отвердевания дисперсная фаза дендритных частиц, состоящая в основном из Ti-Co, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Gd, таким образом, может быть получен металлический лист, состоящий из эндогенного микронного порошка сплава Ti-Co и охватывающего материала Gd. Микроморфология металлического листа показана на фигуре 3. Где атомный процентный состав эндогенного дендритного порошка сплава Ti-Co составляет около $(TiCo)_{99.5}Gd_{0.3}T_{0.2}$, который в основном состоит из монокристаллических частиц интерметаллического соединения Ti-Co с размером частиц в диапазоне от 1 мкм до 60 мкм. Небольшое количество Gd полностью растворяется в эндогенном порошке сплава Ti-Co, и содержание примеси T значительно снижается по

сравнению с сырьем Ti и Gd низкой чистоты, а большое количество примеси T обогащается в охватывающем материале Gd. В готовом металлическом листе, состоящем из эндогенного микронного порошка сплава Ti-Co и охватывающего материала Gd, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава Ti-Co эквивалентно объемному процентному содержанию исходных материалов Ti и Co при приготовлении сырья, что составляет около 30 об.%, обеспечивая таким образом дисперсное распределение порошка сплава Ti-Co в матричной фазе, состоящей в основном из Gd.

[00202] Охватывающий материал Gd в металлическом листе состоит из эндогенного микронного порошка сплава Ti-Co, и охватывающий материал Gd удаляется разбавленным раствором соляной кислоты. Поскольку порошок сплава Ti-Co не вступает в реакцию с разбавленной соляной кислотой, после разделения, очистки и сушки может быть получен порошок сплава Ti-Co, состоящий в основном из (Ti-Co)-Gd-T, морфология монокристаллического дендрита которого показана на фигуре 4. Из-за поглощения поверхностными атомами примесей, таких как кислород, после воздействия порошка сплава Ti-Co содержание примеси T в готовом порошке сплава Ti-Co выше, чем в эндогенном порошке сплава Ti-Co.

[00203] Пример 7

[00204] В этом примере представлена металлическая лента, состоящая из эндогенного микронного порошка сплава Fe и охватывающего материала La, микронного порошка сплава Ti, и способ их получения, который включает следующие этапы:

[00205] Выбирают сырье Fe низкой чистоты и редкоземельное сырье, состоящее в основном из La. Содержание примеси T в двух видах сырья составляет около 2,5 ат.%. Поскольку Fe-La является парой элементов, которая не образует интерметаллических соединений, и как Fe, так и La являются основными элементами, то порошок сплава Fe может быть получен на основе комбинации Fe и La.

[00206] Сырье Fe низкой чистоты и редкоземельное сырье, состоящее в основном из La с объемным соотношением 1:2, смешивают и расплавляют индукционным способом. Таким образом, может быть получен исходный расплав сплава с составом Fe-La-T, в котором содержание T составляет около 2,5 ат.%.

[00207] Исходный расплав сплава отвердевает в виде ленты толщиной около 500 мкм путем прокатки медным роликом. В процессе отвердевания фаза дисперсных частиц, состоящая в основном из Fe, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из La, таким образом, может быть получена металлическая лента, состоящая из эндогенного микронного порошка сплава Fe и охватывающего материала La. При этом атомный процентный состав эндогенного порошка сплава Fe составляет $Fe_{99.4}La_{0.3}T_{0.3}$, который в

основном состоит из монокристаллических частиц Fe с размером частиц в диапазоне от 500 нм до 5 мкм. La полностью растворяется в эндогенном порошке сплава Fe, и содержание примеси T в эндогенном порошке сплава Fe значительно снижается по сравнению с сырьем из Fe низкой чистоты, и большое количество примеси T обогащается в охватывающем материале La. В готовой металлической ленте, состоящей из эндогенного микронного порошка сплава Fe и охватывающего материала La, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава Fe эквивалентно объемному процентному содержанию исходного материала Fe при приготовлении сырья, которое составляет около 33 об.%, что обеспечивает дисперсное распределение порошка сплава Fe в матричной фазе, состоящей в основном из La.

[00208] Эндогенный порошок сплава Fe предварительно отделяют от окисленной матрицы La посредством естественного процесса окисления-измельчения в порошок охватывающего материала La, и порошок сплава Fe можно отделить от окисленной матрицы La с помощью магнитного поля, основанного на магнитных свойствах порошка сплава Fe. Затем остаточный оксид La, адсорбированный на поверхности порошка сплава Fe, может быть полностью удален небольшим количеством разбавленного раствора кислоты, при этом контролируя концентрацию и количество кислоты, можно сохранить порошок сплава Fe. После очистки, разделения и сушки получают порошок сплава Fe.

[00209] Пример 8

[00210] В этом примере представлена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Cu и охватывающего материала Li, нанопорошка сплава Cu и способ их получения, который включает следующие этапы:

[00211] Выбирают сырье Cu низкой чистоты и сырье Li низкой чистоты. Содержание примеси T в двух видах сырья составляет около 1 ат.%. Поскольку Cu-Li является парой элементов, которая не образует интерметаллических соединений, и как Cu, так и Li являются основными элементами, то порошок сплава Cu может быть получен на основе комбинированной пары Cu и Li.

[00212] Сырье Cu низкой чистоты и сырье Li низкой чистоты с объемным соотношением 1:3 смешивают и расплавляют методом индукции. Таким образом, может быть получен исходный расплав сплава с составом Cu-Li-T, в котором содержание T составляет около 1 ат.%.

[00213] Исходный расплав сплава отвердевает в виде ленты толщиной около 30 мкм путем прокатки медным роликом. В процессе отвердевания фаза дисперсных частиц, состоящая в основном из Cu, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Li, таким образом, может быть получена металлическая лента, состоящая из эндогенного

нанопорошка сплава Cu и охватывающего материала Li. При этом атомный процентный состав эндогенного порошка сплава Cu составляет около $Cu_{84.8}Li_{15}T_{0.2}$, который в основном состоит из монокристаллических частиц сплава Cu, полностью растворенных с большим количеством Li. Размер частиц монокристаллического сплава Cu колеблется от 3 нм до 150 нм. Содержание примеси T в эндогенном порошке сплава Cu значительно снижено по сравнению с сырьем Cu, и большое количество другой примеси T обогащается в охватывающем материале Li.

[00214] Охватывающий материал Li в металлической ленте состоит из эндогенного нанопорошка сплава Cu, и охватывающий материал Li удаляется сильно разбавленным раствором соляной кислоты. Поскольку порошок сплава Cu не вступает в реакцию с сильно разбавленной соляной кислотой, после разделения, очистки и сушки может быть получен нанопорошок сплава Cu, состоящий в основном из Cu-Li-T.

[00215] Пример 9

[00216] В этом примере представлена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Cu и охватывающего материала Pb, нанопорошка сплава Cu и способ их получения, который включает следующие этапы:

[00217] Выбирают сырье Cu низкой чистоты и сырье Pb низкой чистоты. Содержание примеси T в двух видах сырья составляет около 2 ат.% и 0,5 ат.% соответственно. Поскольку Cu-Pb является парой элементов, которая не образует интерметаллических соединений, и как Cu, так и Pb являются основными элементами, то порошок сплава Cu может быть получен на основе комбинированной пары Cu и Pb.

[00218] Сырье Cu низкой чистоты и сырье Pb низкой чистоты с объемным соотношением 1:3 смешивают и расплавляют методом индукции. Таким образом, может быть получен исходный расплав сплава с составом Cu-Pb-T, в котором содержание T составляет около 1 ат.%.

[00219] Исходный расплав сплава отвердевает в виде ленты толщиной около 30 мкм путем прокатки медным роликом. В процессе отвердевания фаза дисперсных частиц, состоящая в основном из Cu, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Pb, таким образом, может быть получена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Cu и охватывающего материала Pb. При этом атомный процентный состав порошка эндогенного сплава Cu составляет около $Cu_{99.5}Pb_{0.3}T_{0.2}$, который в основном состоит из монокристаллических частиц сплава Cu, полностью растворенных с небольшим количеством Pb. Размер частиц монокристаллического сплава Cu колеблется от 3 нм до 150 нм. Содержание примеси T в эндогенном порошке сплава Cu значительно снижено по сравнению с сырьем Cu, и большое количество другой примеси T обогащается

в охватывающем материале Pb. В готовой металлической ленте, состоящей из эндогенного нанопорошка сплава Cu и охватывающего материала из Pb, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава Cu эквивалентно объемному процентному содержанию исходного материала Cu при приготовлении сырья, которое составляет около 25 об.%, что обеспечивает дисперсное распределение порошка сплава Cu в матричной фазе, состоящей в основном из Pb.

[00220] Охватывающий материал Pb в металлической ленте состоит из эндогенного нанопорошка сплава Cu, и охватывающий материал Pb удаляется смесью уксусной кислоты и разбавленной соляной кислоты. Поскольку порошок сплава Cu не вступает в реакцию со смесью уксусной кислоты и разбавленной соляной кислоты, после разделения, очистки и сушки может быть получен нанопорошок сплава Cu, состоящий в основном из Cu-Pb-T.

[00221] Пример 10

[00222] В этом примере представлена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Nb-V-Mo-W и охватывающего материала Cu, нанопорошка сплава Nb-V-Mo-W, и способ их получения, который включает следующие этапы:

[00223] Выбирают сырье с низкой чистоты Nb, V, Mo и W, а также сырье Cu. Содержание примеси T в двух видах сырья составляет около 1 ат.%. Поскольку Cu-Nb, Cu-V, Cu-Mo и Cu-W являются комбинационными парами элементов, которые не образуют интерметаллических соединений, а Nb, V, Mo и W являются основными взаимно растворимыми элементами, то порошок сплава Nb-V-Mo-W может быть получен на основе этих пар комбинаций элементов.

[00224] Сырье Nb, V, Mo и W низкой чистоты и сырье Cu1 с объемным соотношением 1:2 смешивают, причем молярное соотношение Nb:V:Mo:W составляет 2:1:1:1. Сырье для сплава расплавляется индукционным способом, и, таким образом, может быть получен исходный расплав сплава с составом (Nb₂VMoW)-Cu-T, в котором содержание T составляет около 1 ат.%.

[00225] Исходный расплав сплава отвердевает в виде ленты толщиной около 30 мкм путем прокатки медным роликом. В процессе затвердевания фаза дисперсных частиц, состоящая в основном из Nb₂VMoW, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Cu, таким образом, может быть получена металлическая лента, состоящая из эндогенного нанопорошка сплава Nb₂VMoW и охватывающего материала Cu. При этом атомный процентный состав эндогенного порошка сплава Nb₂VMoW составляет около (Nb₂VMoW)_{99.3}Cu_{0.5}T_{0.2}, который в основном состоит из высокоэнтропийных монокристаллических частиц сплава Nb₂VMoW, полностью растворенных небольшим

количеством Cu. Размер частиц высокоэнтропийного монокристаллического сплава Nb₂VMoW колеблется от 3 нм до 200 нм. Содержание примеси T в эндогенном порошке сплава Nb₂VMoW значительно снижено по сравнению с сырьем из Nb, V, Mo и W, и большое количество другой примеси T обогащается в охватывающем материале Cu. В готовой металлической ленте, состоящей из эндогенного нанопорошка сплава Nb-V-Mo-W и охватывающего материала Cu, объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава Nb₂VMoW эквивалентно объемному процентному содержанию исходного материала Nb, V, Mo и W при приготовлении сырья, что составляет около 33 об.%, обеспечивая таким образом дисперсное распределение порошка сплава Nb₂VMoW в матричной фазе, состоящей в основном из Cu.

[00226] Охватывающий материал Cu в металлической ленте состоит из эндогенного нанопорошка сплава Nb-V-Mo-W, и охватывающий материал Cu удаляется раствором соляной кислоты средней концентрации. Поскольку порошок сплава Nb₂VMoW не вступает в реакцию с раствором соляной кислоты средней концентрации, после разделения, очистки и сушки может быть получен нанопорошок сплава, состоящий в основном из Nb₂VMoW.

[00227] Пример 11

[00228] В этом примере представлена металлическая лента, состоящая из эндогенного микропорошка сплава Nb-V-Mo-W и охватывающего материала Cu, микропорошка сплава Nb-V-Mo-W, и способ их получения, который включает следующие этапы:

[00229] Выбирают сырье низкой чистоты Nb, V, Mo и W, а также сырье Cu. Содержание примеси T в двух видах сырья составляет около 1 ат.%. Поскольку Cu-Nb, Cu-V, Cu-Mo и Cu-W являются комбинационными парами элементов, которые не образуют интерметаллических соединений, а Nb, V, Mo и W являются основными взаимно растворимыми элементами, то порошок сплава Nb-V-Mo-W может быть получен на основе этих пар комбинаций элементов.

[00230] Сырье Nb, V, Mo и W низкой чистоты и сырье Cu с объемным соотношением 1:2 смешивают, причем молярное соотношение Nb:V:Mo:W составляет 1:1:1:1. Сырье для сплава расплавляется индукционным способом, и, таким образом, может быть получен исходный расплав сплава с составом (NbVMoW)-Cu-T, в котором содержание T составляет около 1 ат.%.

[00231] Исходный расплав сплава отвердевает в виде листа толщиной около 4 мм. В процессе отвердевания дисперсная фаза дендритных частиц, состоящая в основном из NbVMoW, осаждается в матричную фазу, состоящую в основном из Cu, таким образом, может быть получен металлический лист, состоящий из эндогенного микропорошка

сплава NbVMoW и охватывающего материала Cu. Где атомный процентный состав эндогенного дендритного порошка сплава NbVMoW составляет около $(\text{NbVMoW})_{99.6}\text{Cu}_{0.3}\text{T}_{0.1}$, который в основном состоит из высокоэнтропийных монокристаллических частиц сплава NbVMoW, полностью растворенных небольшим количеством Cu. Размер частиц высокоэнтропийного монокристаллического сплава NbVMoW колеблется от 3 нм до 200 нм. Содержание примеси T в эндогенном порошке сплава NbVMoW значительно снижено по сравнению с сырьем Nb, V, Mo и W, и большое количество другой примеси T обогащается в охватывающем материале Cu. В готовом металлическом листе, состоящем из эндогенного микропорошка сплава Nb-V-Mo-W и охватывающего материала Cu, объемное процентное содержание эндогенного дендритного порошка сплава NbVMoW эквивалентно объемному процентному содержанию исходного материала Nb, V, Mo и W при получении исходного сырья, что составляет около 33 об.%, обеспечивая таким образом дисперсное распределение дендритного порошка сплава NbVMoW в матричной фазе, состоящей в основном из Cu.

[00232] Охватывающий материал Cu в металлическом листе состоит из эндогенного микропорошка сплава Nb-V-Mo-W, и охватывающий материал Cu удаляется раствором соляной кислоты средней концентрации. Поскольку дендритный порошок сплава NbVMoW не вступает в реакцию с раствором соляной кислоты средней концентрации, после разделения, очистки и сушки может быть получен нанопорошок сплава, состоящий в основном из NbVMoW.

[00233] Технические характеристики приведенных выше примеров могут быть произвольно объединены. Для краткости все возможные комбинации технических характеристик вышеуказанных вариантов осуществления описаны не полностью. Однако до тех пор, пока между комбинациями этих технических признаков нет противоречий, они должны рассматриваться как подпадающие в объем настоящего изобретения.

[00234] Приведенные выше примеры отражают только несколько вариантов осуществления изобретения, и их описания являются более конкретными и подробными, но они не могут быть истолкованы как ограничивающие объем настоящего изобретения. Следует отметить, что для обычного специалиста в данной области техники могут быть внесены несколько изменений и улучшений без отклонения от концепции изобретения, которые подпадают под объем защиты изобретения. Следовательно, объем защиты настоящего изобретения должен регулироваться прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1 Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, который получают на следующих стадиях:

на этапе 1: плавление исходного расплава сплава с основным элементным составом $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$, где $a0$, $b0$ и $c0$ представляют атомное процентное содержание соответствующих составляющих элементов, и $a0+b0+c0=100\%$, и $0<c0\leq 15\%$;

на этапе 2: отвердевание исходного расплава сплава $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$, получая таким образом дисперсную фазу частиц $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$, эндогенно осажденную из расплава, и матричную фазу $A_{b2}T_{c2}$, охватывающую дисперсные частицы, при этом полученный твердый материал представляет собой металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала; где $0<c1<c0<c2$ означает, что содержание элемента Т в исходном расплаве сплава $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$ выше, чем в дисперсной фазе частиц $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$, но ниже, чем в матричной фазе $A_{b2}T_{c2}$;

металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, получают затвердеванием расплава сплава, и структура металлического материала включает фазу дисперсных частиц, эндогенно осажденных во время затвердевания исходного сплава, и матричную фазу, охватывающую дисперсные частицы, которые соответствуют эндогенному порошку сплава и охватываемому материалу, соответственно; основным элементным составом эндогенного порошка сплава является $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$, а основным элементным составом охватывающего материала является $A_{b2}T_{c2}$;

и М, и А содержат один или несколько металлических элементов, Т–примесный элемент, включающий кислород, $a1$, $b1$, $c1$, $b2$ и $c2$ представляют атомное процентное содержание соответствующего элемента соответственно, и $a1+b1+c1=100\%$, $b2+c2=100\%$, $c2>c1>0$, $b1>0$; температура плавления эндогенного порошка сплава выше, чем у охватывающего материала; эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ содержит элемент А в твердом растворе; и

М и А содержат пару или пары комбинаций элементов M^1-A^1 , которые не будут образовывать соответствующие интерметаллические соединения, где M^1 представляет любой отдельный элемент в М, а A^1 представляет любой отдельный элемент в А, основные элементы в М состоят из каждого элемента M^1 , который удовлетворяет условиям комбинации M^1-A^1 , и основные элементы в А состоят из каждого элемента A^1 , который удовлетворяет условиям комбинации M^1-A^1 , таким образом, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, не будет образовывать интерметаллические соединения, состоящие из основных элементов в М и

основных элементов в А, после полного расплавления и повторного затвердевания, а будет образовывать эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ и охватывающий материал $A_{b2}T_{c2}$.

2. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.1, отличающийся тем, что форма металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, связана со способами отвердевания: в случае непрерывного литья его форма в основном имеет форму планки; а в случае прядении из расплава его форма в основном имеет форму ленты или листа; а в случае извлечения из расплава его форма в основном имеет форму проволоки.

3. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.1, отличающийся тем, что Т представляет собой совокупность элементов О, Н, N, Р, S, F и Cl, и Т включает О, а $0 < c1 \leq 1,5\%$.

4. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.1, отличающийся тем, что М включает по меньшей мере один из W, Cr, Mo, V, Ta, Nb, Zr, Hf, Ti, Fe, Co, Ni, Mn, Cu и Ag, и А включает по меньшей мере один из Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Mg, Ca, Li, Na, K, In, Pb и Zn.

5. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.1, отличающийся тем, что М включает по меньшей мере один из Ir, Ru, Re, Os, Tc, W, Cr, Mo, V, Ta и Nb, а А включает Cu.

6. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.5, отличающийся тем, что металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, представляет собой ленту из металлического материала, состоящую из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, толщиной 10 мкм~5 мм, и размер частиц эндогенного порошка сплава находится в диапазоне от 3nm до 200µm.

7. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.1, отличающийся тем, что $0 < b1 \leq 15\%$.

8. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.1, отличающийся тем, что количество монокристаллических частиц в эндогенном порошке сплава составляет более 60% от общего количества частиц.

9. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.1, отличающийся тем, что исходный расплав сплава $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$ получают путем плавления исходных материалов сплава, которые включают первый и второй исходные материалы; основным элементарным составом первого исходного материала является $M_{d1}T_{e1}$, а основным элементарным составом второго исходного материала является $A_{d2}T_{e2}$, $d1$, $e1$, $d2$ и $e2$ представляют атомное процентное содержание соответствующих составляющих элементов, и $0 < e1 \leq 10\%$, $0 < e2 \leq 10\%$, $d1 + e1 = 100\%$, $d2 + e2 = 100\%$.

10. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.9, отличающийся тем, что содержание примеси T в эндогенном порошке сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ значительно снижено по сравнению с содержанием примеси в сырье $M_{d1}T_{e1}$, то есть $c1$ меньше, чем $e1$.

11. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.9, отличающийся тем, что в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, объемное содержание эндогенного порошка сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ эквивалентно объемному содержанию исходного сырья $M_{d1}T_{e1}$ в процессе его подготовки.

12. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.1, отличающийся тем, что нижний предел объемного процентного содержания эндогенного порошка сплава в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, составляет 1%, а верхний предел представляет собой объемное процентное содержание, при котором порошок эндогенного сплава может быть дисперсно распределен в охватывающем материале.

13. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного

порошка сплава и охватывающего материала по п.1, отличающийся тем, что объемное процентное содержание эндогенного порошка сплава в металлическом материале, состоящем из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, составляет от 1% до 50%.

14. Способ получения порошка сплава, в котором порошок сплава получают путем удаления части охватывающего материала из металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, которое получают любым из способов по п.п.1-13, при сохранении эндогенного порошка сплава, который нельзя удалить одновременно.

15. Способ получения порошка сплава по п.14, отличающийся тем, что способы удаления охватывающего материала при сохранении эндогенного порошка сплава включают, по меньшей мере, одну из реакций растворения в кислотном растворе для удаления, реакцию растворения в щелочном растворе для удаления, испарение в вакууме для удаления и удаление посредством естественного процесса окисления-измельчения в порошок охватывающего материала.

16. Способ получения порошка сплава по п.14, отличающийся тем, что М включает Fe, а А включает La, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, представляет собой металлическую ленту, образованную эндогенным порошком сплава Fe и охватывающего материалом La, эндогенный порошок сплава Fe содержит элемент La в твердом растворе, посредством естественного процесса окисления-измельчения в порошок охватывающего материала La эндогенный порошок сплава Fe предварительно отделяется от оксидного порошка матрицы La, затем на основе магнитных свойств порошка сплава Fe, магнитное поле используется для разделения порошка сплава Fe и оксидного порошка матрицы La.

17. Способ получения порошка сплава по п.14, отличающийся тем, что размер частиц порошка сплава составляет от 3 нм до 10 мкм.

18. Способ получения сферического или субсферического порошка сплава, отличающийся тем, что сферический или субсферический порошок сплава получают посредством плазменной обработки порошка сплава сфероидизацией по п.14.

19. Способ получения сферического или субсферического порошка сплава по п.18, отличающийся тем, что перед обработкой плазменной сфероидизацией отобранные частицы подвергаются предварительному дроблению в струйной мельнице или (и) просеиванию.

20. Металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, в котором металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, получают любым из способов получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по пп.1-13.

21. Порошок сплава, в котором порошок сплава получают способом получения порошка сплава по п.14.

22. Сферический или субсферический порошок сплава, в котором сферический или субсферический порошок сплава получают способом получения сферического или субсферического порошка сплава по п.18.

23. Применение металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, в покрытиях и композиционных материалах, в котором металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, получают любым из способов получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по пп.1-13.

24. Применение металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, в покрытиях и композиционных материалах по п.23, отличающееся тем, что после приготовления металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, охватывающий материал не удаляется сразу, и впоследствии эндогенный порошок сплава пытаются защитить другими способами от загрязнения примесями, такими как кислород, но охватывающий материал непосредственно используется для защиты эндогенного порошка от естественного окисления;

такой металлический материал, состоящий из эндогенного порошка и охватывающего материала, может быть непосредственно использован в качестве сырья

для последующего производства; и

когда эндогенный порошок необходим для последующего производства, исходя из характеристик следующей рабочей процедуры, эндогенные порошки высвобождаются из охватывающего материала в кратчайшие сроки, таким образом, вероятность загрязнения порошка сплава значительно снижается.

25. Применение металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, в покрытиях и композиционных материалах по п.23, отличающееся тем, что выбирают металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, со средним размером частиц эндогенного порошка сплава менее 1000 нм, и удаляют его охватывающий материал;

полученный порошок сплава смешивают с другими компонентами покрытий или композиционных материалов одновременно или сразу после удаления охватывающего материала, чтобы уменьшить содержание примесей, включая O, которые вновь появляются на поверхности порошка сплава в результате воздействия на поверхность порошка сплава; и

таким образом, могут быть получены покрытия или композиционные материалы с добавлением высокочистого, ультратонкого и высокоактивного порошка сплава, которые могут применяться в различных областях, включая антибактериальные покрытия, атмосферостойкие покрытия, камуфляжные покрытия, волнопоглощающие покрытия, износостойкие покрытия, антикоррозионные покрытия, и композиты на основе смол.

26. Применение порошка сплава в порошковой металлургии, литье металлов под давлением, магнитных материалах и покрытиях, в котором порошок сплава получают способом получения порошка сплава по п.14.

27. Применение порошка сплава в катализе, стерилизации, 3D-печати металлическим порошком и композиционных материалах, в котором порошок сплава получают способом получения порошка сплава по п.14.

28. Применение сферического или субсферического порошка сплава в порошковой металлургии, литье металла под давлением и 3D-печати металлическим порошком, в котором сферический или субсферический порошок сплава получают способом получения сферического или субсферического порошка сплава по п.18.

29. Металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, в котором металлический материал получают отверждением расплава сплава, и структура металлического материала включает фазу дисперсных частиц, эндогенно осажденных во время отвердевания исходного сплава, и матричную фазу, охватывающую дисперсные частицы, которые соответствуют эндогенному порошку сплава и охватывающему материалу, соответственно;

основным элементным составом эндогенного порошка сплава является $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$, а основным элементным составом охватывающего материала является $A_{b2}T_{c2}$; как М, так и А содержат один или несколько металлических элементов, Т является примесным элементом, включающим кислород, a_1 , b_1 , c_1 , b_2 и c_2 представляют атомное процентное содержание соответствующего элемента, и $a_1+b_1+c_1=100\%$, $b_2+c_2=100\%$, $c_2>c_1>0$, $b_1>0$; температура плавления порошка эндогенного сплава выше, чем у охватывающего материала; и

эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ содержит элемент А в твердом растворе; М и А содержат пару или пары комбинаций элементов M^1-A^1 , которые не будут образовывать соответствующие интерметаллические соединения, где M^1 представляет любой отдельный элемент в М, а A^1 представляет любой отдельный элемент в А, основные элементы в М состоят из каждого элемента M^1 , который удовлетворяет условиям комбинации M^1-A^1 , и основные элементы в А состоят из каждого элемента A^1 , который удовлетворяет условиям комбинации M^1-A^1 , таким образом, металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, не будет образовывать интерметаллические соединения, состоящие из основных элементов в М и основных элементов в А после полного расплавления и повторного отвердевания, а будет образовывать эндогенный порошок сплава $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$ и охватывающий материал $A_{b2}T_{c2}$.

30. Металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.29, отличающийся тем, что М включает по меньшей мере один из W, Cr, Mo, V, Ta, Nb, Zr, Hf, Ti, Fe, Co, Ni, Mn, Cu и Ag, А включает по меньшей мере один из Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Mg, Ca, Li, Na, K, In, Pb и Zn, и Т представляет собой набор элементов O, H, N, P, S, F, Cl, причем Т включает O, и $0<c_1\leq 1.5\%$, и $0<b_1\leq 15\%$.

31. Порошок сплава, в котором порошок сплава получают путем удаления охватывающего материала в любом из металлических материалов, состоящих из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.29 и п.30, и его основным

элементным составом является $M_{a3}A_{b3}T_{c3}$, $a3$, $b3$ и $c3$ представляют атомное процентное содержание соответствующих элементных частиц соответственно, $b3 > 0$, $a3 + b3 + c3 = 100\%$, и содержание элемента Т в порошке сплава выше, чем в любом из эндогенных порошков сплава по п.29 и 30, то есть $c3 > c1 > 0$.

32. Сферический или субсферический порошок сплава, в котором сферический или субсферический порошок сплава получают путем плазменной сфероидизации порошка сплава по п.31, и его основным элементным составом является $M_{a4}A_{b4}T_{c4}$, $a4$, $b4$ и $c4$ представляют атомное процентное содержание соответствующих элементных частиц соответственно, $b4 > 0$, $a4 + b4 + c4 = 100\%$, и содержание элемента Т в сферическом или субсферическом порошке сплава выше, чем в порошке сплава без обработки плазменной сфероидизацией, то есть $c4 > c3 > c1 > 0$.

33. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, который получают на следующих стадиях:

(1) плавление исходного расплава сплава с основным элементным составом $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$, где и М, и А содержат один или более металлических элементов, Т – примесный элемент, включающий кислород, $a0$, $b0$ и $c0$ представляют атомное процентное содержание соответствующего элемента, $a0 + b0 + c0 = 100\%$, $0 < c0$; М и А содержат пару или пары комбинаций элементов M^1-A^1 , которые не будут образовывать соответствующие интерметаллические соединения, где M^1 представляет любой отдельный элемент в М, а A^1 представляет любой отдельный элемент в А, и основные элементы в М состоят из каждого элемента M^1 , который удовлетворяет условиям комбинации M^1-A^1 , и основные элементы в А состоят из каждого элемента A^1 , который удовлетворяет условиям комбинации M^1-A^1 ,

(2) затверждение исходного расплава сплава $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$, получая таким образом дисперсную фазу частиц $M_{a1}A_{b1}T_{c1}$, эндогенно осажденную из расплава, и матричную фазу $A_{b2}T_{c2}$, охватывающую дисперсные частицы, которые представляют собой металлический материал, состоящий из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по любому из п.29 и 30, и $0 < c1 < c0 < c2$.

34. Способ получения металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по п.33, отличающийся тем, что исходный расплав сплава $M_{a0}A_{b0}T_{c0}$ получают путем плавления исходных материалов сплава, которые включают первый и второй исходные материалы; основным элементным составом первого исходного материала является $M_{d1}T_{e1}$, а основным элементным составом из второго

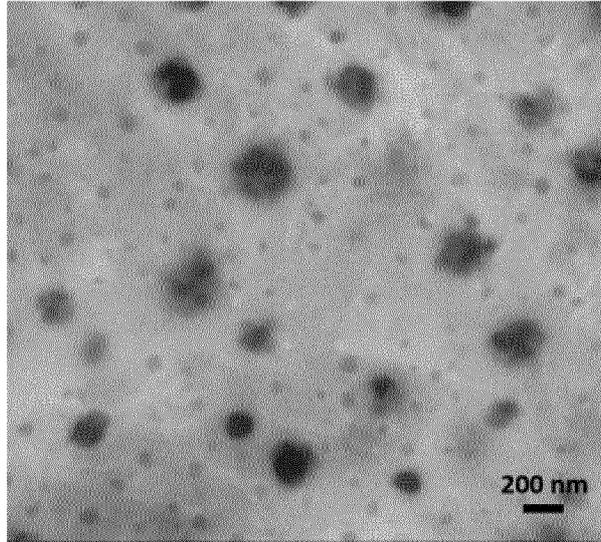
исходного материала является $A_{d2}T_{e2}$, $d1$, $e1$, $d2$ и $e2$ представляют атомное процентное содержание соответствующих составляющих элементов, и $0 < e1 \leq 10\%$, $0 < e2 \leq 10\%$, $d1 + e1 = 100\%$, $d2 + e2 = 100\%$.

35. Способ получения порошка сплава, в котором порошок сплава получают путем удаления части охватывающего материала из металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по пп.29-30, при сохранении эндогенного порошка сплава, который не может быть одновременно удален.

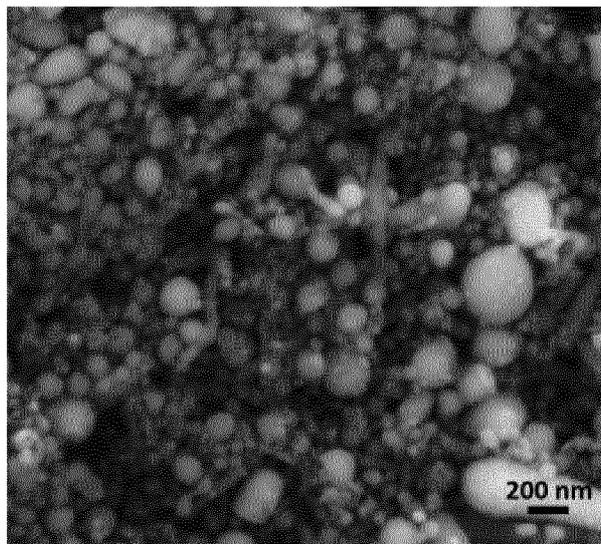
36. Применение порошка сплава по п.31 или порошка сплава, полученного способом получения по п.35, в порошковой металлургии, литье металлов под давлением, магнитных материалах и покрытиях.

37. Применение сферического или субсферического порошка сплава по п.32 в порошковой металлургии, литье металла под давлением и 3D-печати металлическим порошком.

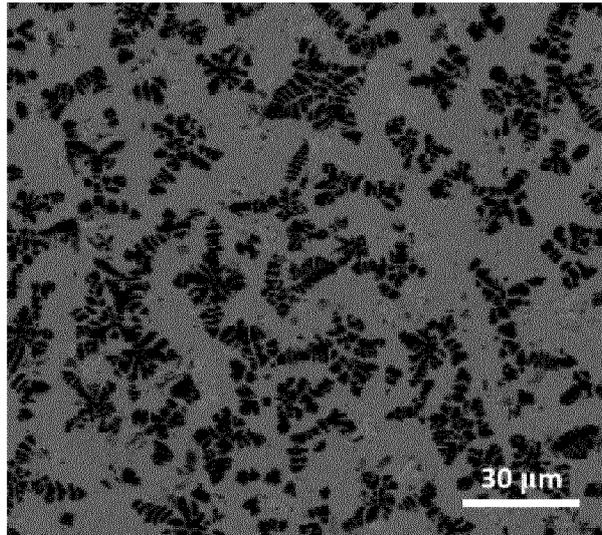
38. Применение металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала по любому из пп.29-30, или металлического материала, состоящего из эндогенного порошка сплава и охватывающего материала, полученного способом по любому из пп.33-34, в покрытиях и композиционных материалах.



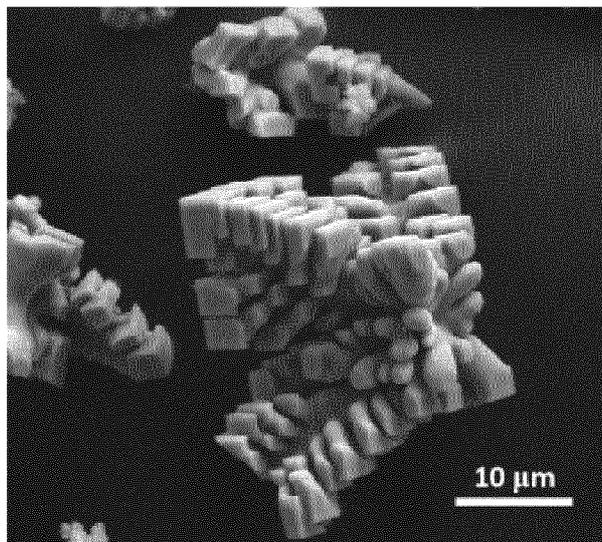
ФИГ. 1



ФИГ. 2



ФИГ. 3



ФИГ. 4